

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta bezpečnostního inženýrství

DISERTAČNÍ PRÁCE

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

17. listopadu 15, 708 33 Ostrava - Poruba

Fakulta bezpečnostního inženýrství

Posouzení kritérií efektivnosti vybraných hasebních prostředků a zařízení

Disertační práce

Autor:

Ing. Vasil Silvestr Pekar

Školitel:

prof. Dr. Ing. Aleš Dudáček

Studijní obor:

Požární ochrana a bezpečnost průmyslu

Ostrava, 20. srpna 2010

Anotace

Disertační práce se zabývá problematikou hašení požárů rostlinných a živočišných tuků a olejů zahrnutých do třídy požárů F. Podrobně jsou hodnoceny jejich vlastnosti a požární technické charakteristiky, které jsou následně konfrontovány s teorií způsobů přerušení hoření a možností jejich aplikace pro třídu požáru F. Zároveň je posuzován i vliv technologických podmínek vyplývajících z tepelného zpracování potravinářských produktů v rámci této třídy požárů.

V experimentální části disertační práce je na základě kritického rozboru současné evropské normalizace pro hasební prostředky a zkušební metody stanovení hasební schopnosti hasiv navržena objektivnější zkušební metoda omezující vliv lidského faktoru na průběh zkoušek. V rámci ověřování hasební účinnosti hasiv pro třídu požáru F uvedených na trh v České republice je rovněž vyhodnocován vliv zkušebních podmínek na výsledek zkoušek.

Cílem experimentální části je také verifikovat nový zkušební postup pro objektivnější a přísnější posuzování hasební schopnosti hasiv. V závěru dizertační práce jsou uvedeny způsoby využití získaných poznatků pro další praxi v daném oboru.

Klíčová slova

Zkouška hašení; třída požáru F; ČSN EN 3-7+A1:2008; hasiva; Neufrol M; Fettex; Fire Ade AFFF; verifikace zařízení; hasební účinnost; ověřování vlivu zkušebních podmínek; verifikace zkušební metody.

Abstract

The doctoral thesis deals with problems of extinguishing the fires of vegetable and animal fats and oils classified in Class F fires. There are their properties and fire-technical characteristics evaluated in detail. Then they are confronted with the theory of modes of the interruption of burning and the possibility of their applications for Class F fires: There is also the influence of technological conditions considered. These conditions result from thermal processing of food products within this class of fires. In the experimental part of the doctoral thesis there is a more objective test method propound. It limits the influence of human factors on the test procedure on the basis of a critical analysis of the current European standardization for extinguishing an equipment and test methods for the determination of the extinguishing efficiency of extinguishing agents.

Within the bounds of the verification of the extinguishing efficiency of extinguishing agents for Class F fires introduced on the market in the Czech Republic there is also the influence of test conditions on their result evaluated.

The aim of the experimental part is to verify the new testing procedure for a more objective and stricter assessment extinguishing potency of extinguishing agents. At the end of the doctoral thesis there are the ways of using the obtained knowledge set out for the future practice in the mentioned field.

Keywords

Test of extinguishment; Class F fire; ČSN EN 3-7+A1:2008; Extinguishing agents: Neufrol M, Fettex, Fire Ade AFFF; Verification of a test apparatus; Extinguishing efficiency; Verification of test conditions; Verification of a text method.

Prohlašuji, že jsem celou disertační práci včetně příloh vypracoval v souladu se studijním řádem samostatně, s použitím literatury uvedené v soupisu bibliografických citací a s použitím protokolů z experimentálních hasebních zkoušek stolních olejů č.1 až č. 21 z roku 2009 a protokolů o zkoušce hašení oleje č.1 až č.3 z roku 2010 vystavených akreditovanou zkušební laboratoří Technického ústavu požární ochrany v Praze 4 - Modřany.

V souladu s § 47b zákona 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním celé disertační práce prostřednictvím informačního systému VŠB-TU Ostrava umožňujícího dálkový přístup.

V Praze 20. 08. 2010

Ing. Vasil Silvestr Pekar

Poděkování:

Poděkování patří mému školiteli, prof. Dr. Ing. Aleši Dudáčkovvi za podnětné rady a připomínky.

Mé poděkování patří rovněž pracovníkům AZL č. 1011.2 v Technickém ústavu PO v Praze, kteří mi ochotně pomáhali s přípravou a provedením zkoušek hašení rostlinných olejů.

Obsah

Seznam ilustrací.....	1
Seznam tabulek	3
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	5
Úvod	8
1. Vlastnosti a požárně technická charakteristika jedlých olejů a tuků.....	10
1.1 Definice a rozdělení jedlých olejů a tuků	10
1.2 Podstata chemického složení jedlých tuků a olejů	11
1.3 Fyzikální a chemické vlastnosti vybraných olejů a tuků.....	14
1.4 PTCH vybraných olejů a tuků	18
2. Fyzikálně chemická podstata hašení jedlých olejů a tuků.....	20
2.1 Způsoby přerušení hoření a jejich aplikace pro třídu požáru F	20
2.2 Přehled a charakteristika dostupných hasiv pro třídu požáru F.....	25
2.3 Posouzení vlivu výparného tepla vodných roztoků u hasiv pro třídu požáru F	28
3. Mezinárodní a evropská normalizace.....	31
3.1 Třídy požáru	31
3.2. Možnosti použití hasiv a zkušební metody pro stanovení jejich účinnosti	32
3.2.1 Možnosti použití hasiv	32
3.2.2 Zkušební metody pro stanovení hasební schopnosti	36
4. Požárně bezpečnostní vyhodnocení požárů třídy F.....	41
4.1 Vyhodnocení požárů vzniklých v souvislosti s jedlými oleji a tuky v ČR.....	41
4.2 Vliv technologických podmínek na vznik a šíření požáru	45
5. Volba zkušební metody a zkušebního zařízení pro hašení požáru třídy F	51
5.1 Zkušební objekt pro stanovení hasební schopnosti na třídu požáru F.....	51
5.1.1 Vlastnosti zkušebního objektu.....	51
5.1.2 Popis zkušebního zařízení	53
5.2 Zkušební podmínky	55
5.3 Zkušební postup.....	56
5.3.1 Způsob a rozsah prováděných měření	57
5.3.2 Měřicí zařízení a přístroje.....	61
6. Ověření PTCH olejů použitých při zkouškách	62
6.1 Stručná charakteristika zkušebních postupů.....	62
6.1.1 Stanovení bodu vzplanutí a bodu hoření podle ČSN EN ISO 2592.....	62
6.1.2 Stanovení teploty vznícení plynů a par podle ČSN EN 14522	64

6.1.3 Stanovení spalného tepla hořlavých kapalin podle ČSN 656169.....	66
6.1.4 Stanovení hustoty oleje.....	68
6.1.5 Stanovení pH	70
6.2 Výsledky stanovení PTCH	71
7. Průběh zkoušek a výsledky ověření hasební schopnosti vybraných hasiv.....	73
7.1 Podmínky průběhu zkoušek.....	73
7.2 Výsledky ověření hasební schopnosti vybraných hasiv	76
7.3 Zkoušky použití vysokotlaké vodní mlhy	82
7.4 Zkoušky aplikace SHZ na hašení fritéz vysokotlakou vodní mlhou	84
7.5 Zkouška aplikace SHZ na hašení fritéz vodným roztokem potaše.....	86
7.6 Zkouška hašení pomocí hasicí přikrývky (roušky)	88
8. Zkušební ověření	90
8.1 Chemická analýza látek vznikajících při hašení.....	90
8.1.1 Chemická analýza hasiv a degradačních produktů po zkouškách hašení.....	90
8.1.2 Chemická analýza plynných zplodin hoření vzorkovaných při zkouškách hašení .	97
8.2 Ověření hustot toků tepla při zkoušce v blízkosti zkušebního zařízení.....	104
8.3 Ověření vlivu rychlosti proudění ovzduší v okolí zkušební aparatury.....	105
8.4 Ověření vlivu způsobu hašení daným hasivem	106
8.5 Ověření vlivu velikosti objemu oleje ve zkušební nádobě na výsledek zkoušky.....	109
Závěr	110
Conclusion	113
Literatura	117
Publikované práce autora	121
Seznam příloh	123

Seznam ilustrací

Obr. č. 1	Graf závislosti distribuce počtu vodních kapek na jejich velikosti a tlaku	36
Obr. č. 2	Počet požárů od vybraných kuchyňských zařízení v období 1994 - 2009	41
Obr. č. 3	Celkový pohled na přípravnu jídel s fritézou po požáru	44
Obr. č. 4	Fritéza po požáru	44
Obr. č. 5	Fritéza o objemu 150 l	46
Obr. č. 6	Pohled na průběžnou fritovací linku o objemu 680 l	46
Obr. č. 7	Protipožární vybavení smažící linky	47
Obr. č. 8	Schéma uspořádání zkušebního zařízení	49
Obr. č. 9	Schéma zkušebního objektu pro zkoušky hasicí schopnosti 5F	52
Obr. č. 10	Schéma zkušebního objektu pro zkoušky hasicí schopnosti 25F	52
Obr. č. 11	Celkový pohled na uspořádání zkušebního objektu 5F	54
Obr. č. 12	Celkový pohled na uspořádání zkušebního objektu 25F	54
Obr. č. 13	Hasicí přístroj T 2 PMDS	55
Obr. č. 14	Hasicí přístroj T 9 PMDS	56
Obr. č. 15	Schéma pozic měřidel u zkušebního objektu 5F při zkouškách č. 1 a 2	58
Obr. č. 16	Schéma pozic měřidel u zkušebního objektu 25F při zkouškách č. 3 až 5	59
Obr. č. 17	Schéma pozic měřidel u zkušebního objektu 25F při zkouškách č. 6 až 21	60
Obr. č. 18	Tester ke stanovení bodu vzplanutí a bodu hoření podle Clevelanda	63
Obr. č. 19	Tester ke stanovení teploty vznícení od firmy Clasic	65
Obr. č. 20	Tester ke stanovení spalného tepla IKA-C 400	67
Obr. č. 21	Tester DENSITO 30 P ke stanovení hustoty	69
Obr. č. 22	Tester JENWAY 370 ke stanovení pH	70
Obr. č. 23	Reakce hasiva Fire Ade AFFF 3% po kontaktu s horkým olejem	79
Obr. č. 24	Teploty oleje v průběhu hašení hasivem Fire Ade AFFF 6 %	80
Obr. č. 25	Teploty oleje v průběhu hašení hasivem Fire Ade AFFF 3 %	80
Obr. č. 26	Teploty oleje v průběhu hašení hasivem Fettex	81
Obr. č. 27	Teploty oleje v průběhu hašení hasivem Neufrol M	81
Obr. č. 28	Hasební zásah vysokotlakou mlhovou proudnicí z CAS	82
Obr. č. 29	Schéma uspořádání zkušebního objektu se SHZ	84
Obr. č. 30	Sestava zkušebního SHZ na vysokotlakou vodní mlhu ve zkušební hale	85
Obr. č. 31	Krusta vytvořená na povrchu hořícího oleje účinkem roztoku potaše	87
Obr. č. 32	Zkušební nádoba před a po pokrytí hořícího oleje hasicí rouškou	88
Obr. č. 33	Infračervená spektra hasiva Fettex	91

Obr. č. 34	Infračervená spektra oleje po hašení hasivem Fettex	92
Obr. č. 35	Infračervená spektra krusty po hašení oleje hasivem Fettex	93
Obr. č. 36	Infračervená spektra prachového stěru po hašení hasivem Fettex	93
Obr. č. 37	Infračervená spektra roztoků hasiva Fire Ade 3 % a 6 % roztok	94
Obr. č. 38	Infračervená spektra odparků hasiva Fire Ade	95
Obr. č. 39	Infračervená spektra oleje po hašení hasivem Fire Ade	95
Obr. č. 40	Infračervená spektra hasiva Neufrol M	96
Obr. č. 41	Infračervená spektra prachového stěru a krusty po hašení Neufrolem M	97
Obr. č. 42	Foto vzorkovacího potrubí a místa odběru	98
Obr. č. 43	Měřicí zařízení TESTO typ 350	98
Obr. č. 44	Graf koncentrací zplodin hoření při použití Neufrolu M.....	99
Obr. č. 45	Graf koncentrací zplodin hoření při použití hasiva Fettex.....	101
Obr. č. 46	Graf koncentrací zplodin hoření při použití Fire Ade 6 %	103
Obr. č. 47	Hašení zkušebního objektu 25F ručně v podélném směru	107

Seznam tabulek

Tabulka č. 1 Zastoupení mastných kyselin ve vybraných olejích a tucích [3], [4]	12
Tabulka č. 2 Složení mastných kyselin ve vybraných významných rostlinných olejích [5]...	13
Tabulka č. 3 Složení mastných kyselin ve vybraných živočišných tucích [6]	13
Tabulka č. 4 Vybrané fyzikální veličiny některých mastných kyselin [8]	15
Tabulka č. 5 Body kouřivosti vybraných tuků/olejů [9].....	17
Tabulka č. 6 Příklady základních PTCH rostlinných a živočišných olejů/tuků [21]	19
Tabulka č. 7 Fyzikálně chemické vlastnosti hasiva Fire Ade 2000.....	25
Tabulka č. 8 Fyzikální a chemické vlastnosti hasiva Fettex.....	26
Tabulka č. 9 Fyzikální a chemické vlastnosti hasiva Neufrol M „meterin“	27
Tabulka č. 10 Stanovená výparná tepla vodných roztoků pěnidel a smáčedel.....	30
Tabulka č. 11 Použití hasiv podle tříd požáru	32
Tabulka č. 12 Rychlost usazování vodních kapek podle jejich průměru Φ	35
Tabulka č. 13 Distribuce kapek u vysokotlaké proudnice v závislosti na tlaku.....	35
Tabulka č. 14 Požárně technické charakteristiky vybraných rostlinných olejů [49].....	45
Tabulka č. 15 Postup odhadu nejistoty při stanovení bodů vzplanutí a hoření	64
Tabulka č. 16 Postup odhadu celkové nejistoty výsledku stanovení teploty vznícení	66
Tabulka č. 17 Postup odhadu celkové nejistoty výsledku stanovení spalného tepla.....	68
Tabulka č. 18 Postup odhadu celkové nejistoty výsledku stanovení hustoty oleje	70
Tabulka č. 19 Postup odhadu celkové nejistoty výsledku stanovení pH.....	71
Tabulka č. 20 Vybrané PTCH olejů, které byly použity ke zkouškám hašení	71
Tabulka č. 21 Podmínky zkoušek hašení vybranými hasivy.....	74
Tabulka č. 22 Vyhodnocení zkoušek hasiv pro třídu požáru F	77
Tabulka č. 23 Výsledky zkoušek hašení vysokotlakou mlhou z CAS	83
Tabulka č. 24 Výsledky zkoušky hašení SHZ na vysokotlakou vodní mlhu	86
Tabulka č. 25 Výsledky zkoušky hašení SHZ s vodným roztokem potaše.....	87
Tabulka č. 26 Výsledky zkoušky hašení hasicí rouškou	89
Tabulka č. 27 Koncentrace zplodin hoření a úbytku kyslíku při použití Neufrolu M.....	99
Tabulka č. 28 NPK-P a PEL hodnoty podle NV č. 523/2002 Sb. [54]	100
Tabulka č. 29 Koncentrace zplodin hoření a úbytku kyslíku při použití Fettexu.....	101
Tabulka č. 30 Koncentrace zplodin hoření a úbytku kyslíku při použití Fire Ade 6 %	103
Tabulka č. 31 Hustoty toku tepla při hašení ve zkušebních objektech 5F a 25F	105
Tabulka č. 32 Minimální zápalné hodnoty hustoty toku tepla [53].....	105
Tabulka č. 33 Výsledky zkoušek hašení v podélném směru	108

Tabulka č. 34	Tabulka porovnání výsledků hašení z různých směrů.....	108
Tabulka č. 35	Porovnání parametrů zkoušek hašení při různých objemech oleje.....	109

Seznam použitých zkratk a symbolů

AFFF	pěnidla tvořící vodní film
AR	pěnidla odolná alkoholu
AZL	akreditovaná zkušební laboratoř
BGN	Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastätten
BH	bod hoření
BH _n	nekorigovaný bod hoření
BT	bod tání
BVA	bod varu
BV	bod vzplanutí
BV _n	nekorigovaný bod vzplanutí
CAS	cisternová automobilová stříkačka
FFFP	fluorproteinová pěnidla tvořící film
FP	fluorproteinová pěnidla
FTIR	Fourier transform infrared (spektroskopy), infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací
GC	plynová chromatografie
HP	hasicí přístroj
HZS	hasičský záchranný sbor
IČ	infračervené
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry, Mezinárodní unie pro čistou a užitnou chemii
MH	relativní molekulová hmotnost
MS	hmotnostní spektroskopie
MV	molekulový sumární vzorec
NPK-P	nejvyšší přípustná koncentrace plynů
NV	nařízení vlády
PB	propan-butan
pH	potenciál of pyrogen, kyselost (vodíkový exponent)
PEL	přípustný expoziční limit
PMMA	polymethylmetakrylát
PUR	polyuretan
RV	rozpustnost ve vodě

S	syntetická pěnidla
SHZ	stabilní hasicí zařízení
TČ	termočlánek
TO	teplota oleje
TÚPO	Technický ústav požární ochrany
VTMP	vysokotlaká mlhová proudnice
ZO	zkušební objekt
A	plocha stěn
C_K	vodní hodnota kalorimetru
C_p	molární teplo vody
g	pára
K	stupeň Kelvina
l	kapalina
M_{H_2O}	molární hmotnost vody
\dot{m}	hmotnostní rychlost odhořívání hořlavé látky/paliva
\dot{m}_{H_2O}	hmotnostní rychlost dodávky vody k hašení
m_{Fe}	hmotnost vyhořelého drátku
m_o	hmotnost vzorku oleje
p	tlak
P	proteinová pěnidla
p_{bar}	barometrický tlak
ppm	parts per milion (10^{-6})
q_1	množství vznikajícího tepla
q_2	množství odváděného tepla
Q_s	spalné teplo
Q_3	objemové teplo při vzniku vodného roztoku HNO_3
Q_{Fe}	spalné teplo Fe drátku
R	rozpětí (rozdíl nejvyšší a nejnižší hodnoty měření)
S	plocha hoření
T	teplota
T_g	teplota plynů v hořícím prostoru
$t_{okolí}$	teplota okolí
T_s	teplota povrchu stěn

T_{st}	startovací teplota při stanovení teploty vznícení
T_{VZN}	teplota vznícení
U	rozšířená nejistota
V	rozdíl molárních objemů parní (g) a kapalné (l) fáze
V_{NaOH}	objem spotřebovaného odměrného roztoku NaOH titrací
x_1, x_2, x_3, x_4	velikost zkušebních dávek
% obj.	objemové procento
α	součinitel přestupu tepla
α_k	teplotní kompenzační koeficient
ΔX	tloušťka
ΔH	molární výparné teplo
ΔH_{ef}	efektivní výhřevnost paliva
$\Delta H_{výp}$	výparné teplo vody
ΔT	teplotní spád
ΔC_p	rozdíl molárních tepelných kapacit páry a kapaliny
Δt	nárůst teploty
ε	emisivita plamenů
Φ	relativní vlhkost vzduchu
λ	součinitel teplotní vodivosti
μ_A	standardní nejistota typu A
$\mu_{A,RR}$	nejistota TVZN z odvozené regresní rovnice
μ_B	standardní nejistota typu B
μ_C	kombinovaná nejistota
μ_{CB}	nejistota spalného tepla Q_s
$\mu_{inj.s.}$	kombinovaná nejistota injekční stříkačky
$\mu_{TČ}$	kombinovaná nejistota TČ
ρ	hustota
σ	Stefan-Boltzmanův koeficient
$\tau_{hašení}$	doba hašení
$\tau_{ohřevu}$	doba ohřevu

Úvod

Současná doba je charakterizována rozvíjející se tržní ekonomikou a růstem hodnoty objektů a majetku, což v případě vzniku požáru znamená i narůstající výši škod. Budování velkých průmyslových, skladových a obchodních komplexů, výstavba nových velkokapacitních sportovních, kulturních a společenských center a výstavba členitých obytných budov se stále se zvyšujícím podílem hořlavých látek a plastů v těchto objektech zvyšuje riziko vzniku požáru, jeho rychlého šíření a ohrožení osob i přes uplatnění normativních, požárně technických požadavků. Vybavení objektů požárně bezpečnostním zařízením, zkracování doby dojezdu požárních jednotek a zlepšování jejich vybavenosti nevede vždy k úplné eliminaci těchto rizik, nebo daná opatření nejsou vždy dostatečně efektivní.

Zvýšení efektu hasicího zařízení lze v podstatě dosáhnout vhodnou volbou:

- druhu hasební látky (v závislosti na třídě požáru),
- způsobu hašení (plocha, objem),
- rychlosti hašení (v závislosti na velikosti trysek, tlaku, intenzitě dodávky hasební látky).

Hasební účinnost je nutno chápat jako schopnost zařízení nebo přístroje hasit určitou skupinu hořlavých látek (třídu požáru), přičemž účinnost hasit jednotlivé třídy požáru se může značně lišit. Rovněž je nutno vzít v úvahu, že některé třídy požáru, druhy chemických látek nebo technologických zařízení nelze daným hasivem hasit vůbec, popřípadě může být toto hašení málo účinné nebo i nebezpečné.

Jednou z velmi nebezpečných tříd z hlediska hašení a jeho efektivnosti je v mezinárodních standardech nově zavedená třída požáru **F** představující požáry jedlých tuků a olejů, jejichž hašení hasebními prášky nebo CO₂ je považováno za nebezpečné.

Vzhledem k značnému rozsahu dané problematiky, její časové a finanční náročnosti, jsem hlavní pozornost v teoretické a experimentální části této práce věnoval především analýze a posouzení efektivnosti hašení požárů třídy F.

Této třídě požárů nebyla dosud u nás věnována patřičná pozornost především ve vztahu k preventivním opatřením, o čemž svědčí nevhodná protipožární vybavení v potravinářských provozovnách i ve velkokapacitních pekárnách, kde se nacházejí smažící fritézy o objemu (500 ÷ 800) l jedlých rostlinných olejů. Rovněž zásahové jednotky hasičského záchranného

sboru (HZS) nejsou dostatečně obeznámeny s možným nebezpečím, které může vzniknout při hašení případných požárů třídy F nevhodnými hasebními prostředky. Kontrolní orgány státního požárního dozoru HZS ČR při svých kontrolách zpravidla nekontrolují vhodnost stávajícího protipožárního vybavení pracovišť se smažicími fritézami a ani jejich vedoucí pracovníci a personál nemají dostatečné povědomí o možném riziku.

Zadaný cíl práce „Analyzovat problematiku efektivnosti hasiv pro třídu požárů F“ vychází z aktuální potřeby praxe a je konkretizován následujícími nosnými úkoly:

1. Provést požárně-bezpečnostní rozbor jedlých olejů a tuků patřících do třídy F.
2. Zhodnotit vliv technologických podmínek používání jedlých tuků a olejů, které jsou zařazené do třídy požárů F, na vybrané požárně-technické charakteristiky.
3. Provést výpočetní odhad výparných tepel vodných roztoků použitých pro hašení.
4. Vyvinout a vyrobit zkušební zařízení a verifikovat metodu pro stanovení hasební schopnosti hasiv na třídu požáru F.
5. Doporučit další postup aplikovaného výzkumu v dané oblasti.

Problematika hašení tříd požáru F se stala aktuální především v posledních 10 letech v důsledku nárůstu spotřeby rostlinných olejů a tuků nejen v potravinářství a restauračních provozech, ale také v automobilovém průmyslu a dopravě, kde se na využití rostlinných olejů zaměřuje pozornost v souvislosti s růstem cen pohonných hmot a hledání obnovitelných zdrojů v oblasti paliv.

Rok od roku se v mírném klimatickém pásmu zvyšuje nárůst osevních ploch ozimé řepky a řepky olejky. V subtropickém a tropickém pásmu se mýtí pralesy, místo kterých se zakládají palmové plantáže, které jsou zdrojem palmového tuku. Stále se zvyšující produkce olejnin v důsledku vysoké poptávky vyvolává zároveň rozšiřování zpracovatelských a skladových kapacit pro produkty z rostlinných tuků a olejů. Do popředí se také dostává nutnost recyklace použitých rostlinných olejů a tuků a jejich využití jako pohonných hmot. To vše přináší s sebou současná doba.

V souvislosti s tím, ale také narůstá riziko vzniku požárů a možných problémů s jejich likvidací. Před 10 lety se o otázky hašení jedlých tuků a olejů u nás téměř nikdo nezajímal, dnes je to úkol aktuální a naléhavý.

1. Vlastnosti a požárně technická charakteristika jedlých olejů a tuků

1.1 Definice a rozdělení jedlých olejů a tuků

Jedlým tukem a olejem se rozumí směs smíšených triacylglycerolů, které se v závislosti na poměrném zastoupení mastných kyselin v triacylglycerolu vyskytují za normálních podmínek v tekutém nebo tuhém stavu.

Jedle tuky a oleje podle původu dělíme na:

- rostlinné,
- živočišné,
- směsné.

Gastronomicky rostlinné tuky členíme na:

- rostlinné oleje, např. slunečnicový olej, kokosový olej atp.,
- margaríny, např. Rama, Perla, Alfa, pro přípravu pomazánek nebo Hera, Stela, Lukana,
- ztužené tuky, např. Iva, Ceres, Omega, ztužená Lukana pro tepelné zpracování potravin.

Rostlinné tuky jsou získávány z rostlin, z jejich plodů, semen nebo jiných částí. Tyto tuky obsahuje např. dužnina a jádra palmy olejné, kokos, olejniny, jako jsou řepka, sója, slunečnice, sezam, podzemnice, světlice, aj. Získávají se dvěma způsoby:

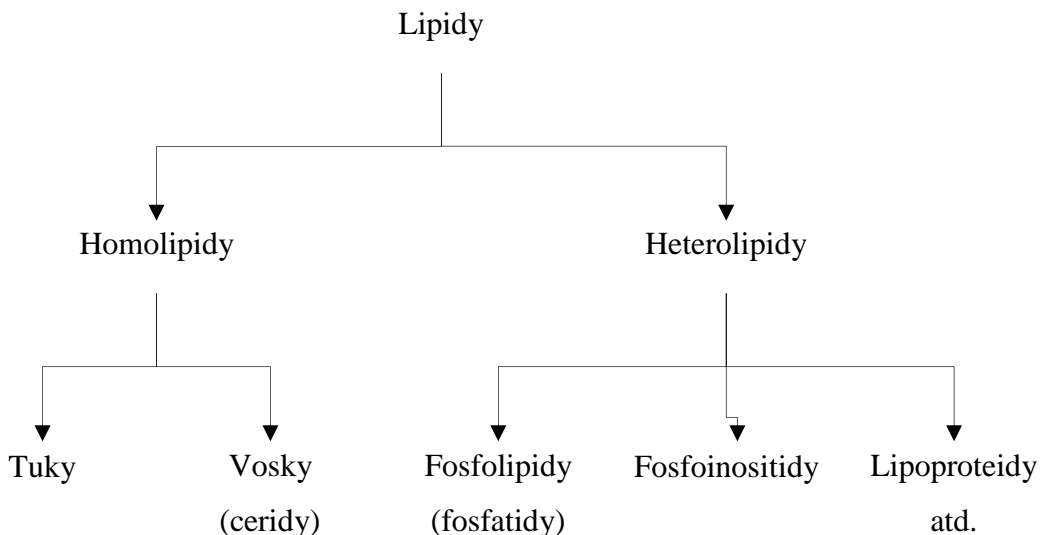
- lisováním (pod tlakem),
- extrakcí (organickým rozpouštědlem).

Takto získaný tzv. surový nebo těž panenský olej se musí rafinovat s cílem odstranit z něho nečistoty, pachutě atp. Rostlinné oleje mají všestranné kuchyňské využití a používají se dále na výrobu margarínů a ztužených tuků. Margaríny se vyrábí emulgací (prudkým vyšleháváním) rostlinných olejů s vodou nebo s mlékem a potřebnými přísadami (máselné aroma, emulgátor, vitamíny). Emulgací vznikne emulze, polotuhá konzistence, nažloutlé barvy, s mírným obsahem vody. Emulze je rozptýlená kapalina v kapalině, ve které se dále rozpouštějí vitamíny A, E a emulgátor, který podporuje tvorbu emulze a zajišťuje její stálost. Ztužené tuky se vyrábějí ztužováním olejů v tlakových kotlích na Ni katalyzátoru vodíkem, který tuk nasycuje - vzniká tuhý tuk. Používají se na smažení a výrobu čokolády.

Živočišné tuky se získávají z tukových buněk živočichů škvařením (např. sádlo, lůj), vyšleháváním (např. máslo ze smetany), nebo lisováním (rybí tuk).

1.2 Podstata chemického složení jedlých tuků a olejů

Tuky a oleje jsou biologické chemické látky chemicky označovány jako **lipidy** (z řečtiny lipid= tuk) s dalším členěním podle následujícího schématu.

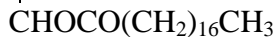


Tuky a oleje – homolipidy se skládají z uhlíku, vodíku a kyslíku ve formě esterů glycerolu s vyššími monokarbonovými kyselinami [1]. Ty mají většinou rovný uhlíkatý řetězec a sudý počet atomů uhlíku, mezi kterými jsou buď jednoduché kovalentní vazby nebo jedna či více dvojných vazeb. Kyseliny s jednou dvojnou vazbou se označují jako **monenové** (např. olejová), se dvěma dvojnými vazbami jako **dienové** (např. linolová), se třemi jako **trienové**, (např. linolenová), se čtyřmi jako **tetraenové** (např. arašídová) atd.

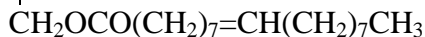
S přibývajícími nenasycenými vazbami se stávají mazlavé až tekuté (oleje). Podle dosavadních poznatků jsou mastné kyseliny statisticky zastoupeny jako triglyceridy (triacylglyceroly) tak, že na jednu molekulu glycerolu připadají tři různé mastné kyseliny, např. palmitová, stearová a olejová, viz následující vzorec jako příklad.



palmitová kyselina



stearová kyselina

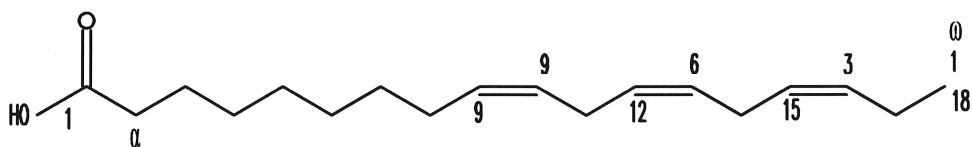


olejová kyselina

Hlavním polyhydroxyalkoholem estericky vázaným na tyto kyseliny je glycerin. Jiným alkoholem může být cholesterol (u živočišného tuku). Na dvojných vazbách navíc může existovat izomerie cis nebo trans. V živočišných tucích nenasycené kyseliny jsou vždy cis-izomery.

V názvosloví mastných kyselin se užívají názvy:

- triviální, např. α -linolenová, viz strukturní vzorec níže, sumární vzorec: $C_{18}H_{30}O_2$,
- chemické (IUPAC), viz např. *all-cis-9,12,15* -octadecatrienová kyselina (význam je patrný ze strukturního vzorce níže),
- tukové (fyziologické): 18:3 (*n*-3) s tímto vysvětlením: mastná kyselina má 18 atomů C se třemi dvojnými vazbami, když první začíná na 3. uhlíku (počítá se od koncového methyly, poloha ω) [1], [2].



Tabulka č. 1 Zastoupení mastných kyselin ve vybraných olejích a tucích [3], [4]

Olej Tuk	Obsah mastných kyselin podle počtu atomů uhlíku a dvojných vazeb v molecule (% hm.)							
	12:0	14:0	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3	22:1
kokosový	44÷45	15÷17	5.8÷9	2,5÷5,5	12÷16	1,4÷3		
kukuřičný			4÷5	1÷2	55÷63	20÷31	9÷10	1÷2
bavlníkový		0,8÷1,5	22÷24	2,5÷5	19	50÷52,5		
lněný			6	3,4÷4	13÷37	5÷23	26÷60	
olivový		1,3	7÷18,3	1,4÷3,3	55,5÷84,5	4÷19		
palmový		0,6÷2,4	32÷46,3	4÷6,3	37÷53	6÷12		
podzemnicový		0,5	6÷12,5		2,5÷6	37÷61	13÷41	
řepkový		1,5	1÷4,7	1÷3,5	13÷38	9,5÷22	1÷10	40÷64
světlicový			6,4÷7	2,4÷29	9,7÷13,8	75,3÷80,5		
sezamový			7,2÷9,2	5,8÷7,7	35-46	35-48		
sojový			2,3÷11	2,4÷6	22÷30,8	49÷53	2÷10,5	
slunečnicový			3,5÷6,5	1,3÷5,6	14÷43	44÷68,7		
lojový (hovězí)		3÷6	25÷37	14÷29	26÷50	1÷2,5		

Z uvedené tabulky vyplývá, že k oxidaci, žluknutí a následnému samozahřívání jsou nej náchylnější ty oleje, které mají velký obsah mastných kyselin a obsahují jednu nebo více dvojných vazeb. Odsud pramení i jejich nebezpečí k samovznícení na dostatečně velkém povrchu a vhodných podmínkách akumulace tepla.

Tabulka č. 2 Složení mastných kyselin ve vybraných významných rostlinných olejích [5]

Mastná kyselina	Slunečnicový olej	Řepkový olej	Olivový olej	Sojový olej
palmitová	5 ÷ 8	3,6 ÷ 6	7,5 ÷ 20	9,7 ÷ 13,3
palmitolejová	< 0,5	0,1 ÷ 0,6	0,3 ÷ 3,5	< 0,2
stearová	2,5 ÷ 7	1,1 ÷ 2,5	0,5 ÷ 5	3 ÷ 5,4
olejová	13 ÷ 40	52 ÷ 66,9	55 ÷ 83	17,7 ÷ 25,1
linolová	40 ÷ 74	16,1 ÷ 24,8	3,5 ÷ 21	49,8 ÷ 57,1
linolenová	< 0,3	6,4 ÷ 14,1	< 1,5	5,5 ÷ 9,5
arachová	< 0,5	0,2 ÷ 0,8	< 0,8	0,1 ÷ 0,6

Obsah (% z veškerých mastných kyselin)

Tabulka č. 3 Složení mastných kyselin ve vybraných živočišných tucích [6]

Mastná kyselina	Vepřové sádlo	Hovězí lůj	Mléčný tuk
laurová	-	< 0,2	2,2 ÷ 4,5
myristová	0,5 ÷ 2,5	1,4 ÷ 7,8	5,4 ÷ 14,6
palmitová	20 ÷ 32	17 ÷ 37	26 ÷ 41
palmitolejová	1,7 ÷ 5	0,7 ÷ 8,8	2,8 ÷ 5,7
stearová	5 ÷ 24	6 ÷ 40	6,1 ÷ 12,5
olejová	36 ÷ 62	26 ÷ 50	18,7 ÷ 33,4
linolová	3 ÷ 16	0,5 ÷ 5	0,9 ÷ 3,7
linolenová	< 1,5	< 2,5	-
arachová	< 1,0	< 0,5	-

Obsah (% z veškerých mastných kyselin)

Složení v tabulkách uvedených nasycených mastných kyselin:

- kyselina laurová ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)
- kyselina myristová ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$)
- kyselina palmitová ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$)
- kyselina stearová ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$)

- kyselina arachová ((CH₃(CH₂)₁₈COOH)

Složení mononenových mastných kyselin:

- kyselina palmitolejová (CH₃(CH₂)₅CH=CH(CH₂)₇COOH)
- kyselina olejová - cis izomer (CH₃(CH₂)₇CH=CH(CH₂)₇COOH)

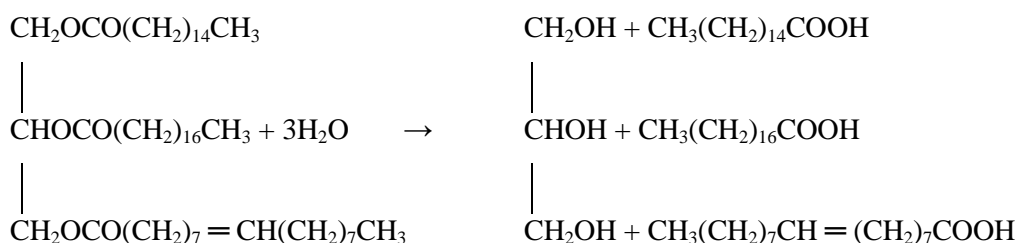
Složení polyneových mastných kyselin:

- kyselina linolová - esenciální kyselina, (cis,cis)-oktadeka-9,12-dienová
- kyselina γ-linolenová - esenciální -cis,cis,cis-6,9,12-oktadekatrienová
- kyselina α-linolenová - esenciální, all-cis-9,12,15-oktadekatrienová kyselina

1.3 Fyzikální a chemické vlastnosti vybraných olejů a tuků

Vlastnosti tuků se liší v závislosti na vlastnostech mastných kyselin, z nichž se skládají, viz tabulka č. 4. Poměr počtu atomů uhlíku, vodíku a kyslíku v molekule tuku je však mnohem větší, než u sacharidů. Např. v hovězím tuku, složeném z tristearinu je 110 atomů vodíku na 6 atomů kyslíku, zatímco stejné prvky v glukóze mají poměr dva ku jedné. Všechny tuky v potravinách jsou směsí glyceridů a důsledkem změn v jejich složení je různorodá konzistence, chuť a chemické vlastnosti. Je pravidlo, že tuky z nasycených mastných kyselin jsou většinou tuhé. Lipidy z nenasycených mastných kyselin a triglyceridů mají nižší body tání než z nasycených. Lipidy jsou nerozpustné ve vodě. Tuky se liší od olejů pouze v tom, že jsou pevné při pokojové teplotě, zatímco oleje jsou kapalné. Většina tuků a olejů potřebuje ochranu před vzduchem, teplem a světlem. Tuky a oleje vydrží beze změny déle, pokud jsou uchovávány v uzavřených obalech zcela zaplněných, bez vzduchu. Másla nebo margarín, které jsou dlouhou dobu při pokojové teplotě, za působení tepla a světla žluknou.

Další z reakcí triglyceridů je hydrolýza esterové skupiny. Při této hydrolýze vzniká glycerol a mastné karboxylové kyseliny, které jsou odvozeny z tuků/oleje, viz příklad níže.



Tabulka č. 4 Vybrané fyzikální veličiny některých mastných kyselin [8]

Kyselina	MV	MH [g/mol]	ρ [g/cm ³]	BT [°C]	BVA [°C]	RV [g/100 ml]
propionová	C ₃ H ₆ O ₂	74,08	0,990	-21,0	186 - 187	4,97
máselná	C ₄ H ₈ O ₂	88,11	0,969	-47,0	155	rozpustná
valerová	C ₅ H ₁₀ O ₂	102,13	0,930	-34,5	141	4,97
kapronová	C ₆ H ₁₂ O ₂	158,28	0,880	44,2	299	nerozpustná
palmitová	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256,42	0,853	62,9	227	nerozpustná
heptadekanová	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270,45	0,853	61,3	227	nerozpustná
stearová	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	248,48	0,847	69,6	383	nerozpustná
α -linoleová	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	278,43	0,824	84,2	306	nerozpustná
linolová	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	280,45	0,900	-5,0	229	nerozpustná
olejová	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282,46	0,895	13,0 ÷ 14,0	360	nerozpustná
arachová	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	312,53	0,824	75,3	328	nerozpustná
arachidová	C ₂₀ H ₃₂ O ₂	304,50	0,900	-49,5	229	3,22
ikosenová	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	310,51	0,883	23,0 ÷ 24,0	360	nerozpustná
behanová	C ₂₂ H ₄₄ O ₂	340,58	0,824	80,0	306	nerozpustná
lignocerová	C ₂₄ H ₄₈ O ₂	368,63	0,824	84,2	306	nerozpustná

Vysvětlivky:

MV – molekulový vzorec sumární,

MH – relativní molární hmotnost,

ρ – hustota,

BT – bod tání,

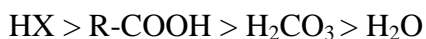
BVA – bod varu,

RV – rozpustnost ve vodě.

Z tabulky vyplývá:

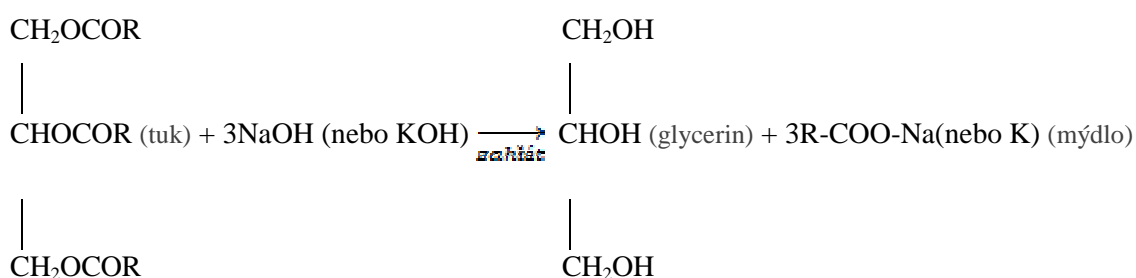
- alifatické monokarbonové mastné kyseliny se sudým počtem atomů C mají vyšší bod tání než nejbližší nižší i vyšší kyseliny s lichým počtem C,
- jejich rozpustnost ve vodě s rostoucí molární hmotností klesá,
- s rostoucí relativní molekulovou hmotností stoupá jejich bod varu,
- první členy homologické řady alifatických mastných kyselin jsou charakteristické silným zápachem (máselná, valerová).

Acidita karboxylových kyselin leží mezi silnými minerálními kyselinami (HX) a kyselinou uhličitou (H₂CO₃):



Proto karboxylové kyseliny reagují např. s alkalickými uhličitany a lze tak připravit jejich soli. Tyto soli mastných kyselin jsou funkční složkou mýdel.

K zabránění kontaktu horkého oleje se vzdušným kyslíkem po uhašení plamene se do hasiva přidává louh (sodný nebo draselný), který reaguje s karboxylovými kyselinami podle následující schematické chemické rovnice:



kde R je např. stearová kyselina.

Kromě výše popsaných změn, které se vyskytují v tucích za normálních skladovacích podmínek, některé další změny nastanou, když jsou tuky zahřáté na vysoké teploty. Jedním z důkazů o rozkladu tuků zahříváním je viditelný kouř. Tuky a oleje při pečení a grilování by proto neměly být zahřívány na tzv. bod kouřivosti. Bod kouřivosti obecně určuje teplotu, při které se tuk nebo olej při vaření začne rozkládat na glycerol a volné mastné kyseliny. Glycerol se dále štěpí na akrolein, který je součástí modravého velmi dráždivého dýmu pro oči a dýchací cesty. Pro pečení za vysokých teplot se proto vyžaduje tuk s vysokým bodem kouřivosti. Dnešní domácí oleje, jako jsou sójové, arašídové a kukuřičné, pokud jsou dobře rafinované a deodorizované mají bod kouřivosti cca 232 °C. Pokud jsou méně dobře zpracovány, bod kouřivosti u nich klesá na (221 ÷ 226) °C. Hydrogenované a bez emulgátoru, někdy obsahují malé množství palmového a kokosového oleje s bodem kouřivosti (221 ÷ 232) °C.

Tabulka č. 5 Body kouřivosti vybraných tuků/olejů [9]

Tuk/olej	Kvalita	Bod kouřivosti [°C]
mandlový olej	neuvedena	216
avokádový olej	neuvedena	271
máslo	neuvedena	177
řepkový olej	lisovaný	240
řepkový olej	vysoce olejnatý	246
řepkový olej	rafinovaný	240
kokosový olej	nerafinovaný	177
kokosový olej	rafinovaný	232
kukuřičný olej	nerafinovaný	160
kukuřičný olej	rafinovaný	232
bavlníkový olej	neuvedena	216
lněné semínko olej	nerafinovaný	107
olej z hroznových zrn	neuvedena	216
olej z lískových ořechů	neuvedena	221
konopný olej	neuvedena	165
sádlo	neuvedena	182
macadamia olej	neuvedena	210
olivový olej	extra virgin	191
olivový olej	virgin	216
olivový olej	mláto	238
olivový olej	extra lehký	242
olivový olej, (nízká kyselost)	extra virgin	207
palmový olej	neuvedena	235
arašídový olej	nerafinovaný	160
arašídový olej	rafinovaný	232
rýžových otrub oleje	neuvedena	254
sezamový olej	nerafinovaný	177
sezamový olej	semirafinovaný	232
sójový olej	nerafinovaný	160
sójový olej	semirafinovaný	177
sójový olej	rafinovaný	232
slunečnicový olej	nerafinovaný	107
slunečnicový olej	semirafinovaný	232
slunečnicový olej	nerafinovaný	160
olej z vlašských ořechů	nerafinovaný	160
olej z vlašských ořechů	semirafinovaný	204

1.4 PTCH vybraných olejů a tuků

Požárně technickými charakteristikami (PTCH) hořlavé látky obecně se rozumí její vlastnosti vyjádřené měřitelnými hodnotami, nebo stanovené na základě měřitelných hodnot více dílčích vlastností, nebo jevy vystihující chování látky při procesu hoření, nebo s ním související [7].

Nebezpečí požárů jedlých olejů se nejčastěji vyjadřují těmito PTCH:

- bodem vzplanutí,
- bodem hoření,
- teplotou vznícení,
- spalným teplem resp. výhřevností,
- koncentračními mezemi výbušnosti (dolní a horní).

Existuje řada mezinárodních a státních/národních norem pro stanovení:

- Bodu vzplanutí:
 - metody rovnovážné: ČSN EN ISO 1516 [10], ČSN EN ISO 1523[11], ČSN EN ISO 3679 [12], ČSN EN ISO 3680 [13], ISO 2592 [14]
 - metody nerovnovážné: ČSN EN ISO 13736 [15], ČSN EN ISO 2719 [16]
- Bodu hoření: ČSN EN ISO 2592 [17]
- Teploty vznícení: ČSN 33 0371 [18], ČSN EN 14522 [19]
- Spalného tepla: ČSN ISO 1928 [20] a ČSN 65 6169 [21]

Bod vzplanutí je nejnižší teplota zkušební dávky (přepočtená z barometrického tlaku na standardní atmosférický tlak 101,3 kPa), při které aplikace zapalovacího zařízení za předepsaných podmínek zkoušky způsobí vzplanutí par zkušebního vzorku (plamen se krátkodobě vyskytne uvnitř kelímku) za určených podmínek zkoušky [21].

Bod hoření je nejnižší teplota zkušební dávky, přepočtená na standardní atmosférický tlak 101,3 kPa, při které aplikace zkušebního plamene způsobí, že se páry zkušební dávky zapálí a ustáleně hoří po dobu nejméně 5 s za určených podmínek zkoušky [21].

Teplota vznícení je nejnižší teplota horkého povrchu, při které se za stanovených laboratorních podmínek hořlavý plyn nebo hořlavá pára ve směsi se vzduchem samovolně vznítí [19].

Spalné teplo je (při konstantním objemu) množství tepla, které se uvolní z jednotky hmotnosti látky jejím spalováním v kalorimetrické bombě v kyslíku za předepsaných podmínek.

Tabulka č. 6 Příklady základních PTCH rostlinných a živočišných olejů/tuků [21]

Rostlinný/živočišný tuk/olej	Bod vzplanutí [°C]	Teplota vznícení [°C]	Spalné teplo [MJ/kg]
kokosový	288	329	9,020
ricinový	298	335	8,880
lněný	309	360	9,364
slunečnicový	316	341	9,499
olivový	321	361	9,456
bavlníkový	322	342	9,447
kukuřičný	326	359	9,413
vepřové sádlo	282	352	9,449
hovězí lůj	324	357	9,485

2. Fyzikálně chemická podstata hašení jedlých olejů a tuků

2.1 Způsoby přerušení hoření a jejich aplikace pro třídu požáru F

Proces hoření je v podstatě charakterizován vývinem tepla, které je důsledkem fyzikálně chemické oxidační reakce okysličovadla s hořlavou látkou při teplotě vznícení tohoto souboru. Obecně je nezbytné pro přerušení hoření hořlavého souboru splnit podmínku:

$$q_1 \leq q_2 \quad (1)$$

kde rychlost vývinu tepla hořením q_1 (kW) musí být menší než celkové množství tepla q_2 (kW) odváděného za jednotku času ze zóny hoření radiací q_{rad} (kW), konvekcí q_{kon} (kW), vedením q_{ved} (kW) a hašením $q_{haš}$ (kW).

$$q_1 = \dot{m}\Delta H_{ef} \quad (2)$$

$$q_2 = q_{rad} + q_{kon} + q_{ved} + q_{haš} \quad (3)$$

$$q_{rad} = S\varepsilon\sigma T_g^4 \quad (4)$$

$$q_{kon} = \alpha(T_g - T_s)A \quad (5)$$

$$q_{ved} = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta X} A \quad (6)$$

$$q_{haš} = \dot{m}_{H_2O} \left[\Delta H_{výp} + \frac{1}{M_{H_2O}} \left(\int_{T_0}^{373} C_{H_2O(l)} dt + \int_{373}^{T_{pl}} C_{H_2O(g)} dt \right) \right] \quad (7)$$

kde \dot{m} je hmotnostní rychlost odhořívání hořlavé látky/paliva (kg/s) v uzavřeném prostoru

ΔH_{ef} je efektivní výhřevnost paliva (kJ/kg)

S je plocha hoření (m²)

σ je Stefan-Boltzmanův koeficient (kW/(m²K⁴))

ε je emisivita plamenů (bez rozměru)

T_g je teplota plynů v hořícím prostoru (K)

α je součinitel přestupu tepla (kW/(m²K))

T_s je teplota povrchu stěn (K)

A je plocha stěn (m²)

λ je součinitel teplotní vodivosti (kW/(m·K))

ΔT	je teplotní spád na ΔX ($^{\circ}\text{C}$)
ΔX	je tloušťka (m)
\dot{m}_{H_2O}	je hmotnostní rychlost dodávky vody k hašení (kg/s)
$\Delta H_{\text{výp}}$	je výparné teplo vody (kJ/kg)
M_{H_2O}	je molární hmotnost vody (kg/mol)
C_p	je molární teplo vody (kJ/(mol·K))
l	kapalina
g	pára

Analýza vztahů v těchto rovinách ukázala, že podstatný vliv na rozvoj procesu hoření vykazuje hmotnostní rychlost odhořívání hořlavé látky \dot{m} , která je dána druhem hořlavé látky, její formou (tuhá, prach, kapalina, plyn), množstvím, koncentrací okysličovadla a aktivační energií. Snížení rychlosti reakce lze pak dosáhnout snížením koncentrací v hořlavém souboru, například izolací hořlavé látky, snížením koncentrace kyslíku zředěním inertními plyny nebo také zvýšením aktivační energie pomocí inhibitorů hoření nebo snížením teploty plamene.

Z uvedeného vyplývá, že hoření se přerušuje buď při ochlazování zóny reakce hoření, nebo při ochlazování povrchu hořícího materiálu pod kritickou teplotu. Při ochlazování povrchu se přerušení hoření dosáhne tehdy, jestliže odvod tepla z hořícího materiálu probíhá s větší rychlostí než pohlcování tepla vycházejícího z plamene. Bylo zjištěno, že pro přerušení hoření hořlavých kapalin postačuje snížit tepelný tok z plamene na povrch hořlavé kapaliny v množství odpovídajícím snížení teploty hoření o 23 %.

Současně však bylo výpočty prokázáno, že přerušení hoření ochlazováním zóny reakce hoření vyžaduje odvod množství tepla, které odpovídá snížení teploty hoření/plamene hořlavé látky cca o 45 % [22]. Z uvedeného vyplývá, že pro přerušení hoření ochlazováním zóny hoření v plynné fázi je nutné odvést více tepla než při ochlazování hořícího povrchu.

Praktické poznatky i teoretické závěry ukazují, že pro přerušení hoření musí být nezbytně splněna jedna z následujících podmínek:

- oddělení (izolace) hořícího povrchu od vzdušného kyslíku (oxidantu) nebo snížení koncentrace kyslíku na hodnotu, při které je hoření nemožné,
- intenzivní zpomalení rychlosti chemických reakcí v plameni (inhibice hoření),

- ochlazení ohniska hoření pod kritické teplotní hodnoty,
- vytvoření podmínek pro intenzivní odvod tepla vznikajícího v zóně hoření.

Ochlazovací efekt, který ochladí hořící látku pod teplotu vznícení nebo zónu hoření pod kritickou teplotu a tím proces hoření zastaví, je dán hodnotou výparného měrného skupenství tepla, které u nejrozšířenější hasební látky (vody) při teplotě 100 °C a tlaku 101,324 kPa představuje hodnotu 2256,5 kJ·kg⁻¹ [23].

Výparné teplo je možno považovat za jedno ze základních kritérií hasební účinnosti vodných roztoků, smáčedel a pěnidel. Jeho stanovení umožňuje posouzení efektivnosti těchto hasebních látek. Z požárně technických charakteristik jedlých olejů a tuků vyplývá, že největším problémem ve srovnání s požáry jiných hořlavých kapalin je jejich vysoká teplota vznícení (320 ÷ 380) °C. Jedlé tuky a oleje jsou při této teplotě stále kapalné, jejich extrémně vysoký tepelný potenciál se mnohem hůře zchladí a nebezpečí opětného vzplanutí je u nich mnohem vyšší.

Každá normální vodní kapka, která se ponoří do tohoto horkého tuku zvětší při 100 °C prudce 1700 krát svůj objem a rozstříkne hořící tuk z vany do celého prostoru. Dosažení přerušení hoření ochlazováním vodní mlhou z hydrantových systémů nebo přenosných hasicích přístrojů přináší nebezpečí deflagračního vývinu plamenů a bezprostřední ohrožení zasahujících osob.

Přerušení hoření požárů jedlých tuků a olejů izolací od vzdušného kyslíku zakrytím pomocí víka je obvyklé při hašení malé pánve. Při použití masivního víka se tím často dosáhne úspěchu. Objemné fritézy však mají větší plochu a přístrojový kryt je z relativně tenkostěnné nerez oceli. Pevné zaklapávací i volné víko se účinkem vysoké teploty tak deformuje, že vzdušný kyslík opět pronikne k ohni a izolačního efektu se nedosáhne. K tomu navíc vzniká další problém s víkem. Fritézy většinou stojí u stěny, kam lze na víko dosáhnout jen tehdy, když se uchopí skrze oheň. Toto může způsobit těžké popálení obsluhujícího personálu. Bez pomůcek není odstranění víka v podstatě možné.

Často jsou u fritéz a pečících zařízení umístěny pro první zásah v případě požáru hasicí deky. Vzhledem k tomu, že v České republice není stanovena povinnost jejich certifikace [24] jsou používané hasicí deky často v neodpovídající kvalitě a v nevhodných rozměrech. Podle zahraničních zkoušek [25], při kterých byly prakticky testovány všechny v dané době na trhu

dostupné protipožární deky, bylo zjištěno, že po přikrytí hasicí dekou a pečlivém utěsnění zařízení stejně vždy došlo ke vzniku postranních plamenů a následně i k plošnému prohoření horní plochy. Navíc vzhledem k velkému vývinu tepla a vzniku postranních plamenů není vždy možné provést ručně převlečení hasicí deky bez nebezpečí pro obsluhu.

Dalším hojně rozšířeným hasebním prostředkem v potravinářských a pohostinských provozech jsou hasicí přístroje s náplní CO_2 , jejichž hasební účinek spočívá ve snižování koncentrace vzdušného kyslíku v zóně hoření. Tyto hasicí přístroje jsou zkoušeny a testovány pro třídu požáru B, tzn. požáry hořlavých kapalin. Mají však velmi nízký ochlazovací efekt, a proto je jejich použití při hašení na vysokou teplotu zahřátých jedlých olejů a tuků je naprosto nevhodné, neboť nevede k trvalému hasebnímu účinku. Při hašení dochází neustále k opětovnému vzplanutí. Tyto přístroje nejsou schopny prokázat svoji účinnost při použití na hašení požáru třídy F, proto také evropská norma ČSN EN 3-7+A1 již ve svém úvodním ustanovení o předmětu normy vylučuje tyto přístroje z posuzování shody na požáry třídy F [26].

Použití hasebních prášků při požárech třídy F v potravinářských a restauračních provozech je velmi problematické již z hygienického hlediska, a proto se v těchto provozech práškové hasicí přístroje vyskytují méně často.

Hasební prášky BC vhodné pro hašení hořlavých kapalin a plynů i „univerzální“ prášky ABC se však z hlediska jimi daného způsobu přerušení hoření jeví jako naprosto nevhodné pro hašení třídy požáru F. Hasicí prášky působí při hašení požárů hořlavých kapalin a plynů především svým anti-katalytickým (inhibičním) efektem tak, že na povrchu prachových částic vážou radikály hoření, tj. aktivní molekuly a atomy hořlavých plynů a par, čímž snižují jejich aktivační energii, která pak nestačí při vzájemné reakci radikálů udržovat řetězovou reakci hoření a dochází k jejímu přerušení. Prášky ABC mají vedle antikatalytického efektu také izolační efekt, který vyplývá z jejich chemického složení. Tyto prášky obsahují fosforečnany, popřípadě sírany, které se vlivem tepla rozkládají a vytvářejí na povrchu tuhých hořících látek glazuru, která je izoluje od zóny hoření. [27]. Hasebním práškům však stejně jako u CO_2 schází pro přerušení požárů třídy F dostatečný ochlazovací efekt, což i přes zpomalení a přerušení reakce hoření v důsledku antikatalytického efektu vede vždy k opětovnému vznícení hořícího oleje. V důsledku kinetické energie hasebního prášku, která je nutná pro jeho dopravu do zóny hoření, dochází k jeho silným nárazům na hladinu oleje a vystřelování prachových částic obalených olejem do okolí, což představuje značné nebezpečí pro

zasahující osoby a může vést k dalšímu rozšíření požáru. Evropská norma ČS EN 3-7+A1 práškové hasicí přístroje a jejich posuzování pro použití na požáry F vylučuje [26].

Pro hašení běžných hořlavých kapalin se v současné době používají převážně pěnové hasicí prostředky s pěnotvornými přísadami na bázi AFFF (Aqueous Film Forming Foams), které se skládají ze směsi uhlovodíků a fluorovaných povrchově aktivních činidel a jsou schopné na povrchu určitých hořlavých kapalin vytvářet vodní film, který brání odpařování a prostupu hořlavých plynů a par do zóny hoření. Obdobně působí i film tvořící fluor-proteinová pěnidla (FFFP – Film Forming Fluorprotein Foam), která jsou zaváděna do užívání v poslední době. Hasicí přístroje s těmito pěnotvornými přísadami se v potravinářských a restauračních zařízeních začaly používat častěji teprve v posledních deseti letech vzhledem k tomu, že zajišťují poměrně „čisté“ hašení a mají vyšší hasební účinnost než CO₂ přístroje dříve rozšířené v těchto provozech. Hasební látka je z uvedených přístrojů vytlačována ve formě vodní mlhy, což zvyšuje intenzitu ochlazovacího účinku a tyto přístroje by se zdály být vhodnými i pro hašení jedlých tuků a olejů. Mnohé z nich jsou díky dokonale vytvořené vodní mlze testovány i pro hašení elektrických zařízení pod napětím do 1000 V.

Při praktickém použití se však tyto přenosné hasicí přístroje jeví jako problémové z následujících důvodů:

- a) při hoření jedlých tuků a olejů ve fritézách nebo smažicích nádobách dochází k intenzivnímu promíchávání horkého oleje ode dna na jeho povrch varem, které zabraňuje vytvoření souvislého filmu na povrchu hořícího oleje tak, aby tento zamezil prostupu hořlavých plynů a par do zóny hoření,
- b) intenzita ochlazování není dostatečná k tomu, aby bezprostředně ochladila olejovou lázeň pod teplotu vzplanutí oleje, a proto dochází zpravidla k jeho opětovnému vzplanutí,
- c) proud vytlačované hasební látky z přístroje zároveň zvyšuje proudění vzduchu v zóně hoření a působí v první fázi jako dmychadlo, což vede k nárůstu výšky plamenů s efektem „plamenometu“.

Z uvedených poznatků vyplývá, že pro úspěšné uhašení požáru třídy F, které jsou charakteristické vysokou teplotou vznícení a vysokou teplotou bodu varu, která umožňuje značnou akumulaci tepla v hořícím oleji, musí být splněna alespoň jedna ze dvou následujících podmínek:

- 1) musí být zajištěno oddělení hořlavé látky od okolního prostředí dostatečně odolnou nehořlavou vrstvou tak, aby se zabránilo styku hořlavých plynů a par se vzdušným kyslíkem,
- 2) musí být zajištěn dostatečně intenzivní ochlazující účinek (odvod tepla) pro ochlazení zóny hoření a hořlavé látky pod její teplotu vznícení.

2.2 Přehled a charakteristika dostupných hasiv pro třídu požáru F

V poslední době byla na našem trhu výrobci deklarována jako vhodná pro hašení jedlých tuků a olejů pouze tři následující hasiva:

- 1) Fire Ade 2000, výrobce Fire Service Plus Inc., sídlem Fayetteville, stát Georgia, USA,
- 2) Fettex, výrobce Fabrik chemischer PräpRte vpn Dr. Richard Sthamer GmbH&CO.KG, Hamburg, SRN,
- 3) Neufrol M – „meterin“, výrobce BTH – Braudschutz-Technik GmbH, Voringen, SRN.

Fire Ade 2000

Tato hasební látka byla na náš trh uvedena v roce 2003 vydáním certifikátu typu č. 221/003/2003 jako přísada do vody. Hasicí schopnost byla stanovena podle tehdy platné ČSN EN 3-7 pro přenosné hasicí přístroje [26] s výsledkem uhašení zkušebního objektu 34B pro 2 litry hasiva, zkušebních objektů 5A a 55B pro 3 litry hasiva a objektů 8A a 144B pro 6 litrů hasiva. Tyto hodnoty se jeví ve srovnání s běžně používanými pěnотvornými přísadami typu AFFF v hasicích přístrojích jako průměrné.

Tabulka č. 7 Fyzikálně chemické vlastnosti hasiva Fire Ade 2000

Parametr	Naměřená hodnota $\pm U$
hustota při teplotě $t = (22 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	$1,011 \pm 10^{-3}$
hodnota pH	$7,7 \pm 0,5$
viskozita kinematická při $t = (22 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$ [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]	$3,2 \pm 1,0$
bod tuhnutí [$^\circ\text{C}$]	$0,0 \pm 1,0$

kde U je rozšířená nejistota ($k = 2$)

Hodnoty uvedené v tabulce byly stanoveny zkušební laboratoří TÚPO Praha.

Výrobce byla tato hasební látka deklarována jako víceúčelový hasicí a likvidační prostředek, kterým se dosahuje rychlého snížení teploty oleje a zóny hoření zejména,

vypařováním a prostým objemovým ochlazováním. V propagačních materiálech výrobce je uvedena možnost jeho použití pro hašení požárů kategorií A, B, C, D i F. V technické příručce výrobku Fire Ade 2000 vydané firmou Fire Service Plus Inc. se uvádí, že princip přerušení hoření je rozdílný od hasiv typu AFFF, vysvětlení jeho působení při hašení uvedené na str. 16 této příručky je poměrně zmatečné, neboť uvádí kromě ochlazovacího účinku i vyloučení kyslíku vytvořením pěnového příkrovu, i když není specificky formulován jako pěna, dále uvádí odstranění nebo odloučení hořlavých látek emulgací nebo uzavřením uhlovodíků a přerušení normální reakce nově vznikajících volných radikálů během hoření.

Pro hašení požáru hořlavých kapalin třídy B se výrobcem doporučuje podávat plný proud na zadní stěnu nádoby tak, aby se od ní odrážel. Ve formě vodní mlhy se k jejich hašení nedoporučuje. Pro aplikaci na třídu požáru F nejsou v této příručce pokyny uvedeny a doporučuje se spojit přímo s výrobcem. Na str. 37 je však uvedena kladná odpověď na otázku, zda hasicí přístroj Fire Ade je účinný na požáry omastku a tuku. Odpověď zní ANO s vysvětlením, že Fire Ade rychle ochladí hořící omastek pod teplotu opětného vznícení. Tyto hasicí přístroje však nemají mlhovou trysku a podávají kompaktní proud. Proto je v příručce doporučováno nemířit hubicí přímo do hořícího omastku a hasit ze vzdálenosti přibližně 6 stop (tj. ca 2 m) a při hašení pohybovat hasicím přístrojem ze strany na stranu, [28] str. 16, 37, 66 až 69.

Fettex

Fettex je výrobcem deklarován jako speciální hasicí prostředek pro použití v hasicích zařízeních a hasicích přístrojích k hašení požárů jedlých tuků a olejů ve fritézách a smažicích zařízeních a k nim náležících filtrech a odsávacích zařízeních. Dle technického listu tohoto výrobku se hasicí prostředek jemně rozstříkuje na hořící jedlý tuk, případně olej a vytváří uzavřenou plynotěsnou pěnovou pokrývku, která ihned udusí plameny a díky chladicímu efektu je oleji nebo tuku i okolním zařízením odebráno teplo.

Tabulka č. 8 Fyzikální a chemické vlastnosti hasiva Fettex

Parametr	Naměřená hodnota \pm U
hustota při 20 °C [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	1,275 \div 1,295
hodnota pH	8,0 \div 9,0
viskozita při 20 °C [$\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$]	max. 10
bod tuhnutí [°C]	-25

Hodnoty uvedené v tabulce byly převzaty z technického listu výrobku vydaného distributorem Luing Pyrex spol. s r. o.

O jeho chemickém složení výrobce pouze uvádí v bezpečnostním listu, že se jedná o pěnотvorný hasicí prostředek na bázi draselných solí. Přípravek není klasifikován jako nebezpečný ve smyslu Zákona č. 356/2003 Sb. [29].

Neufrol M – „meterin“

Toto hasivo je do České republiky dodáváno jako náplň do přenosných hasicích přístrojů produkce FLN Neuruppin – SRN, které jsou dováženy od roku 2000 pod označením T 9 PMDS s obsahem náplně 9 l hasiva, které výrobce deklaruje jako vodní roztok trinatriumcitrátu ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) s dodatkem amoniových vazeb. Od roku 2008 jsou dováženy i přístroje T 2 PMDS s obsahem 2 litry hasiva, T 6 PMDS se 6 litry hasiva, které jsou certifikovány pro použití na třídu požru A – tuhé hořlavé látky i třídu požáru F – požáry jedlých tuků a olejů. Hasební účinnost přístroje T 9 PMDS-1 je certifikována podle ČSN EN 3-7+A1:2008 na 13A, 75F; T 6 PMDS na 8A, 75F a u T 2 PMDS na 5A, 40F. Jako základní princip přerušení hoření výrobce uvádí vytvoření tuhé izolační vrstvy na povrchu hořícího oleje v důsledku chemického působení hasiva, které zabraňuje přístupu vzduchu.

Tabulka č. 9 Fyzikální a chemické vlastnosti hasiva Neufrol M „meterin“

Parametr	Naměřená hodnota \pm U
hustota při 20 °C [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	1,16
hodnota pH	7,4
viskozita při 20 °C [$\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$]	neudána
bod tuhnutí [°C]	0

Hodnoty uvedené v tabulce byly převzaty z bezpečnostního listu vydaného FLN Feuerlöschgeräte Neuruppin Vertriebs-GmbH.

Jak vyplývá z podstaty chemického složení jedlých olejů a tuků uvedené v kapitole 1.2 této práce, jedná se u posledních dvou hasebních látek, tj. Fettexu a Neufrolu M, o dosažení přerušení hoření při požárech třídy F izolací povrchu hořícího oleje nebo tuku, která brání prostupu hořlavých plynů a par do zóny hoření. Izolační vrstva na povrchu oleje nebo tuku se vytváří v důsledku tzv. saponifikace, tj. hydrolýzy esteru alkalickým hydroxidem (louh sodný nebo draselný v roztoku hasiva), který reaguje s karboxylovými kyselinami obvykle za vzniku

glycerinu a příslušné soli mastné kyseliny (mýdla) podle (schématické) chemické rovnice uvedené na str. 23.

Jde o chemický proces, v důsledku kterého se z hořlavé látky (jedlého oleje nebo tuku) vytváří v jeho povrchové vrstvě látka nehořlavá – mýdlo, vytvářející silnou krustu, která izoluje hořlavou látku od zóny hoření a zabraňuje styku hořlavých plynů a par se vzdušným kyslíkem, čímž se přerušuje chemická oxidační reakce hoření.

2.3 Posouzení vlivu výparného tepla vodných roztoků u hasiv pro třídu požáru F

Při hoření požáru třídy F hraje významnou roli rychlost odvodu tepla akumulovaného v hořícím oleji nebo tuku a okolních konstrukcích, které je způsobilé znovu vznítit tyto látky. Fyzikálně chemická podstata hašení ochlazováním je založena na ochlazení hořící látky pod její teplotu vznícení. Současná hasiva používaná pro třídu požáru F jsou v podstatě vodné roztoky vytvářející izolační vrstvu a stanovení hodnoty jejich výparného tepla může být kritériem pro posouzení jejich účinnosti nebo posouzení jejich ochlazovacího účinku.

Při hašení vodnými roztoky vytvářejícími izolační vrstvu na povrchu hořlavé látky lze pozorovat tři základní fáze tepelného působení na hasivo podle následujícího modelu:

- v první fázi dochází k izolaci hořlavé látky, zamezení vzniku hořlavé směsi a zhasnutí plamene,
- ve druhé fázi dochází k tepelné degradaci izolační vrstvy,
- v poslední fázi dochází k pozvolnému vypařování vody z roztoku.

Přijatý model průběhu hašení a postup odpařování hasicích roztoků napovídá, že z fyzikálně-chemického hlediska se jedná o děj v odborné literatuře označený jako destilace „z baňky do baňky”. Výpočtem lze doložit, že změna složení kapalně a parní fáze v průběhu vypařování hasebních roztoků při hašení nemá výrazný vliv na hodnotu výparných tepel a jejich přesnost. To velmi zjednodušuje výpočet výparných tepel, protože se stačí zabývat výpočtem pouze původního roztoku a není nutné modelovat průběh vypařování pomocí destilačních křivek. Tak přechází problém výpočtu na problém stanovení výparných tepel čistých látek. Výparná tepla roztoků se stanoví pouze z vlastností výparných tepel čistých složek.

Pro stanovení výparného tepla čisté látky ΔH lze proto využít následující vztah:

$$\Delta H = A(1 - T_r)^\alpha \exp(-\alpha T_r) \quad (8)$$

kde koeficient $A = 142,44 \text{ kJ/mol}$

součinitel $\alpha = 0,4301$

T_r je redukovaná teplota, $T_r = T/T_k$

T_k je kritická teplota = 679 K

V TÚPO Praha byly v rámci výzkumu efektivnosti vybraných hasiv provedeny v roce 2003 výpočetní odhady výparných tepel šesti studovaných čistých látek a devíti vodných roztoků hasiv třídy F při 25 °C, 60 °C, 100 °C a 200 °C.

Vodné roztoky pěnidel splňují předpoklad o platnosti aditivity výparných tepel čistých složek především proto, že se jedná o velmi zředěné vodné roztoky s dominující složkou - vodou, jejíž výparné teplo je až pětikrát větší než výparná tepla doprovodných složek [30].

K odhadu vlivu tlaku na hodnotu výparného tepla disponuje termodynamika dvěma vztahy:

$$\left(\frac{\partial \Delta H}{\partial p}\right)_s = \left[\left(\frac{\partial \Delta H}{\partial T}\right)_s - \Delta C_p\right] / (\Delta H / T \Delta V) = \left[\left(\frac{\partial \Delta H}{\partial T}\right)_s - (C_p^g - C_p^l)\right] / [\Delta H / T (V^g - V^l)] \quad (9)$$

$$\left(\frac{\partial \Delta H}{\partial p}\right)_T = (V^g - V^l) - T[\partial(V^g - V^l)/\partial T] \quad (10)$$

kde ΔH je molární výparné teplo, p je tlak, T je teplota, ΔC_p je rozdíl molárních tepelných kapacit páry a kapaliny, ΔV je rozdíl molárních objemů parní (g) a kapalně (l) fáze. Příklady odhadnutých výparných tepel jsou uvedeny v tabulce č. 10.

Tabulka č. 10 Stanovená výparná tepla vodných roztoků pěnidel a smáčedel

Pěnidlo/smáčedlo	Výparné teplo (kJ/kg)			
	25 °C	60 °C	100 °C	200 °C
Pyrocool B (0,4 %)	2433	2350	2249	1930
Sthamex F-15 (1 %)	2422	2339	2238	1924
Sthamex F-15 (3 %)	2383	2300	2201	1891
Expyrol F-15 (1 %)	2422	2339	2238	1924
Expyrol F-15 (3 %)	2383	2300	2201	1891
Expyrol A3F/AV (3 %)	2384	2302	2203	1893
Expyrol A3F/AV (5 %)	2346	2265	2268	1861
Moussol APS F-15 (3 %)	2384	2302	2203	1893
Moussol APS F-15 (5 %)	2346	2265	2268	1861

Vypočtené hodnoty výparných tepel vodných roztoků pěnidel o koncentracích nižších než 1 % se liší od hodnot výparných tepel čisté vody o méně než 0,8 %. To umožňuje při výpočtech použít jako aproximaci údajů o výparném teple čisté vody.

Vypočtené hodnoty výparných tepel vodných roztoků pěnidel o koncentracích do 3 % se liší od hodnot výparných tepel čisté vody až o 2,4 % a vypočtené hodnoty výparných tepel vodných roztoků pěnidel o koncentracích nad 5 % se liší nejméně o 3,9 %. V těchto dvou případech už je aproximace použitím údajů o výparném teple čisté vody nepřesná.

3. Mezinárodní a evropská normalizace

3.1 Třídy požáru

Výsledek působení hasiv na proces hoření závisí na fyzikálních a chemických vlastnostech hořících látek a materiálů, na podmínkách hoření, intenzitách dodávky hasiv do ohniska hoření a na dalších ovlivňujících faktorech.

Výběr určitého hasiva pro hasební zásah na určitý požár vychází ze snahy dosáhnout maximálního hasicího účinku podle druhu hořících objektů při minimálních nákladech. Výběr hasiva do určité míry ovlivňuje též tzv. třída požáru.

Pod pojmem třída požáru se v současné době rozumí klasifikace požáru podle druhu hořlavé látky. V České republice platí od 1. června 1994 ČSN EN 2, která ve shodě s mezinárodní normou ISO 3941 [32] stanovila 4 třídy požáru:

- Třídu A: Požáry tuhých látek, zejména organického původu, jejichž hoření je obvykle provázáno žhnutím
- Třídu B: Požáry kapalin nebo látek přecházejících do kapalného skupenství
- Třídu C: Požáry plynů
- Třídu D: Požáry kovů

V normě již nebyla zařazena zvláštní třída požáru E zahrnující elektrická nebezpečí. Tato norma nahradila dříve užívanou tabulku č. 2 z ČSN 38 9100 z 11. 6. 1962 pro ruční hasicí přístroje, jejíž platnost skončila k 1. 3. 1997.

Jako reakce na problematiku hašení jedlých olejů a tuků byla přijata v říjnu 2004 změna A1 v normě EN 2:1992, kterou se doplnilo označení a určení tříd požáru o

- Třídu F: Požáry rostlinných nebo živočišných olejů a tuků v kuchyňských spotřebičích.
- Tato změna pak byla v České republice jako česká verze přijata v květnu 2005 pod označením ČSN EN 2 změna A1 [31].

Vzhledem k tomu, že ve Spojených státech amerických a Austrálii bylo pro požáry olejů a tuků používaných v kuchyních přijato označení - třídy požáru K (kachen - kuchyně), byla od 15. 9. 2007 přijata změna mezinárodní normy ISO 3941:2007 (E) s tím, že stávající třídy požáru byly doplněny o třídu F: Požáry zahrnující rostlinné nebo živočišné oleje a tuky

v kuchyňských zařízeních [32]. Těmito změnami v evropské i mezinárodní normalizaci se podtrhl význam a důležitost nepodceňování možných rizik při vzniku a likvidaci požárů rostlinných nebo živočišných olejů a tuků používaných v kuchyni při tepelném zpracování potravin, které v posledních letech nabírá stále širší uplatnění.

3.2. Možnosti použití hasiv a zkušební metody pro stanovení jejich účinnosti

3.2.1 Možnosti použití hasiv

Hasivo vybrané k zásahu na požár předurčuje způsob a techniku hašení. Způsobem hašení se rozumí souhrn působení na ohnisko požáru a dodávky hasiva do ohniska hoření. Obecně se rozlišují tzv. povrchové a objemové metody hašení. Povrchově jsou hašeny prakticky všechny třídy požárů, kdy se hasivo (voda jako plný nebo tříštivý proud, hasicí pěna nebo prášek) dodává na povrch ohniska požáru, ať již přímo nebo nepřímo (pod povrch hořící kapaliny). Objemové hašení se užívá výhradně na požáry v relativně dobře hermeticky uzavřených prostorech. Pomocí hasiva (inertní plyny, hasicí prášky, vodní mlha, halony) se v každé části tohoto uzavřeného prostoru musí vytvořit potřebná hasicí koncentrace v objemových procentech. Požární techniku, kterou se realizuje způsob hašení, lze obecně rozdělit na stabilní a polostabilní zařízení, mobilní techniku a přenosné hasicí přístroje [33]. Typy tradičně používaných hasiv ve vazbě na třídu požárů obecně vyjadřuje následující tabulka č 11.

Tabulka č. 11 Použití hasiv podle tříd požáru

Hasivo	Třída požárů				
	A	B	C	D	F
voda	+++	+	+	-	--/+
hasicí pěna	++	+++	-	-	+
hasicí prášek BC	+	++	++	-	-
hasicí prášek ABC	++	++	++	+	-
hasicí prášek D	-	-	--	++	-
halony	-	++	++	--	-
CO ₂	-	++	++	-	-

Vysvětlivky:

+++ velmi vhodné

++ dobré

- + vhodné za určitých podmínek
- nevhodné
- nebezpečné

Výzkumem hasiv a hašení se dosáhlo pokroku v poznání mechanismu hašení (chladícího, dusivého/flegmatizačního a inhibičního účinku), což ovlivnilo vývoj nejenom vysoce účinných hasiv, ale též požární techniky, věcných prostředků požární ochrany a samotné taktiky hašení a metod hodnocení hasicí účinnosti. Dokladem je množství monografií, článků v odborných časopisech, referátů ve sbornících z mezinárodních konferencí, studií a výzkumných zpráv např. [30] a [34]. Pro porovnání hasicí účinnosti různých hasiv je velmi důležitý výběr kritérií a zkušebních metod, podle kterých je možné hasicí účinnost hasiva stanovit a hodnotit.

Montrealský protokol z roku 1987 [35] a jeho dodatky (zejména tzv. Kodaňský) zakázaly výrobu a používání halonů. Otevřenou zůstává také otázka pěnidel na bázi fluoru (Light Water, AFFF) ve vztahu k ochraně ozónové vrstvy Země. Ve světě probíhá intenzivní výzkum a vývoj s cílem nalézt alternativní hasiva pro aktivní protipožární ochranu. Jsou přehodnocovány tradiční hasiva a jejich možnosti.

Možnosti použití vody, která zůstává ze známých důvodů nejpoužívanějším hasivem, nejsou zdaleka vyčerpány. Vyšší „kulturu hašení“, kterou lze vyjádřit sloganem „Co neshořelo požárem, nesmí být poničeno hašením“ představují nové způsoby hašení.

Voda ve formě sprchových proudů nebo jemných vodních mlh, dodávaných do uzavřeného prostoru po určitou dobu pomocí sprinklerových SHZ nebo mobilní požární technikou se speciálními zařízeními nachází stále širší uplatnění. Zkoušky prokázaly možnosti účinného hašení dokonce počítačových místností, skladovacích místností, elektrických rozvaděčů a rozvodných skříní (i pod napětím) pomocí malých množství vody jemně rozprášené bez následného rizika [30]. Podle tradičních způsobů je však voda dosud uváděna jako nevhodná nebo nebezpečná pro hašení těchto požárů.

Impulsní technologie např. na principu „vystřelení“ dávky, např. 0,25 litru vody během milisekund ve formě kapek ($2 \div 200$) μm , rychlostí ($120 \div 200$) m/s přímo do ohniska požáru, která docílí jeho prudké ochlazení a uhašení v krátkém čase, mohou být také cestou ke zvýšení efektivnosti [36].

Přidávky nových hasebních látek, např. PYROCOOL, které po přiměšování/namíchání do vody i při nízkých koncentracích produkují vysoký chladicí účinek, a tak v krátké době snižují efektivně dobu zásahu a množství dodané vody do ohniska požáru, nelze rovněž podceňovat.

Určitou perspektivu má také kombinovaný typ hasiva na principu impulsní dodávky speciálních sestav těžce tavitelných prášků ve směsi s inertním plynem do chráněného prostoru, kde vytvoří aerosol s vysokou účinností hašení tříd požárů B a C [37].

Frekventovanější aplikace lze očekávat u objemových hasiv, zejména inertních plynů (vodní páry, dusíku, oxidu uhličitého, ve speciálních případech argonu nebo hélia) ke snížení koncentrace kyslíku v chráněném prostoru pod $(12 \div 15) \%$ obj., tj. minimální koncentraci potřebnou pro hoření, která je pro většinu hořlavých látek/materiálů mezní.

Stále nedoceňované jsou dosud u nás aplikace vysokotlaké vodní mlhy. Vysokotlaká vodní mlha působí na plamen hořlavé látky čtyřmi způsoby:

- 1) kapky mlhy odnímají vypařováním teplo z plamene a povrchu hořlavé látky po kontaktu s ním,
- 2) vodní kapky se vypařují ještě před kontaktem s plamenem v bezprostředním okolí, vznikající vodní pára tím zředí obsah kyslíku v okolním vzduchu, a tak působí inertizačním mechanismem,
- 3) vodní mlha brání toku tepla z plamenů do hořlavé kapaliny, a tím omezuje další zahřívání hořlavé kapaliny na vyšší teplotu a tím i rychlost odhořívání,
- 4) setrvačnost mlhového kužele do určité míry odklání, až odtrhuje plamen od hořící látky.

Experimentálně bylo potvrzeno, že čím menší je velikost kapek vodní mlhy, tím menší je potřeba množství vody k hašení. Z experimentů je odhadováno, že obsah min. 15 % hm. vodní páry (mlhy) ve vzduchu v bezprostředním okolí ohně vede k účinnému ochlazení plamenů a plynných zplodin hoření. Rychlost usazování vodních kapek mimo plameny na zem opět závisí na jejich průměru, viz následující tabulka č. 12 [34].

Tabulka č. 12 Rychlost usazování vodních kapek podle jejich průměru Φ

Průměr kapek Φ (μm)	Doba usazení na výšce 0,305 m (s)
5	341
10	99
20	25
50	4

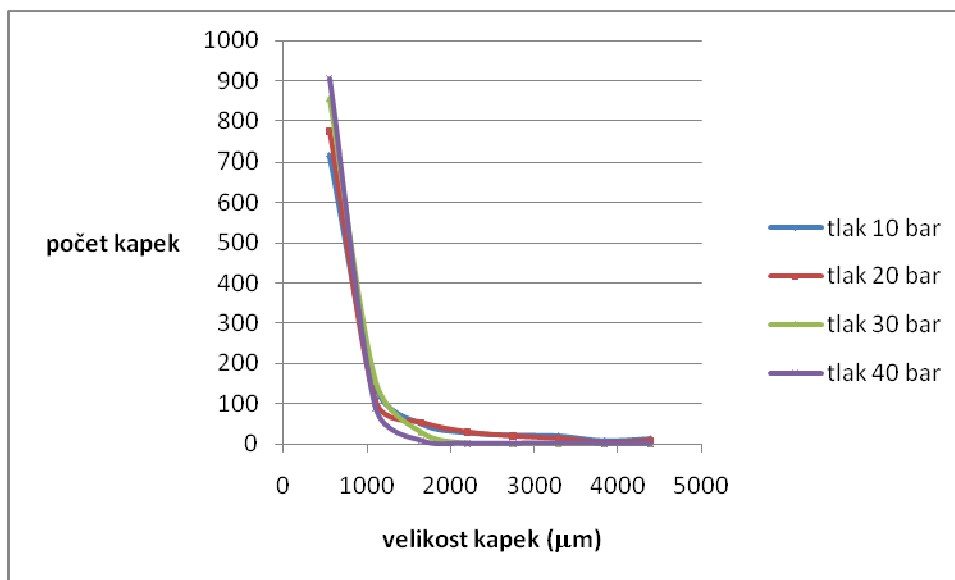
Rychlost usazování je zanedbatelná u kapek vodní mlhy s průměrem pod 10 μm , pokud je cílem uhasit požár za několik desítek sekund. Kapky této velikosti je však obtížné docílit běžnými průtočnými mlhovými proudnicemi. Kapky o rozpětí (5 ÷ 10) μm lze docílit vzduchovým atomizérem na proudnici. NFPA 750:2000 uvádí následující klasifikaci vodní vysokotlaké mlhy do dvou tříd [39]:

- třídy C1: více jak 10 % proudu tvoří kapky menší jak 100 μm ,
- třídy C2: více jak 10 % proudu tvoří kapky menší jak 200 μm .

V Technickém ústavu PO jsme testovali distribuci počtu kapek podle velikosti průměru na vysokotlaké mlhové proudnici typu AWG, HDP 1, která je ve výbavě CAS, a to v závislosti od tlaku na čerpadle. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 13 a obrázku č. 1.

Tabulka č. 13 Distribuce kapek u vysokotlaké proudnice v závislosti na tlaku

Rozmezí Φ_1 (μm)	Počet kapek			
	tlak 10 bar	tlak 20 bar	tlak 30 bar	tlak 40 bar
0 až 549	714	774	854	906
549 až 1098	143	106	157	89
1098 až 1647	51	53	30	7
1647 až 2197	29	29	3	0
2197 až 2746	23	19	1	0
2746 až 3295	21	13	0	1
3295 až 3844	9	3	0	0
3844 až 4393	14	8	0	0



Obr. č. 1 Graf závislosti distribuce počtu vodních kapek na jejich velikosti a tlaku

Při hašení vysokotlakou vodní mlhou je nutno, aby mlhový kužel byl schopen pokrýt celou plochu hořící olejové lázně. V opačném případě je nutno nasadit další vysokotlakové mlhové proudy tak, aby se ochlazovací účinek mlhových proudů podpořil vytěsněním vzdušného kyslíku ze zóny hoření. Při nižších tlacích, než je uvedeno výše, může být hašení neúčinné.

Používat jako hasivo vodu v kompaktních proudech nebo sprchových a mlhových proudech při použití běžných proudnic pro hašení požárů třídy F je nebezpečné. Olejová lázeň ve fritézách nebo smažicích zařízeních pečáren a gastronomických provozů může být při požáru zahřátá na teplotu (350 ÷ 400) °C i vyšší. V důsledku toho dochází okamžitě k přeměně vody v páru, doprovázené prudkým zvýšením objemu, které způsobí vyvržení oleje z fritézy nebo smažicího zařízení s explozivním efektem.

3.2.2 Zkušební metody pro stanovení hasební schopnosti

Jak vyplývá z rozboru možností použití hasiv, je posouzení jejich hasební účinnosti velmi problematické a závisí na celé řadě faktorů, především však na způsobu jejich aplikace. Zkoušky hasicí schopnosti pro hasiva jsou v platných technických normách definovány pouze pro pěnidla, tj. kapaliny, která se rozředí vodou k vytvoření pěnotvorného roztoku. Tyto technické normy jsou členěny podle čísla napěnění, tj. podle poměru objemu pěny k objemu pěnotvorného roztoku, ze kterého vznikla následovně:

- ČSN EN 1568-1:2002 Hasiva – Pěnidla – část 1: Technické podmínky pro pěnidla na střední pěnu k aplikaci na povrch kapalin nemísitelných s vodou [40].
- ČSN EN 1568-2:2002 Hasiva – Pěnidla – část 2: Technické podmínky pro pěnidla na lehkou pěnu k aplikaci na povrch kapalin nemísitelných s vodou [41].
- ČSN EN 1568-3:2002 Hasiva – Pěnidla – část 3: Technické podmínky pro pěnidla na těžkou pěnu určenou k aplikaci na povrch kapalin nemísitelných s vodou [42].
- ČSN EN 1568-4:2002 Hasiva – Pěnidla – část 4: Technické podmínky pro pěnidla na těžkou pěnu určenou k aplikaci na povrch kapalin mísitelných s vodou [43].

Uvedené normy se vztahují na všechny druhy pěnidel:

- proteinová pěnidla (P): vyrobená z hydrolyzovaných proteinů,
- fluorproteinová (FP): s přísadami fluorovaných povrchově aktivních činidel,
- syntetická (S): směsi povrchově aktivních uhlovodíků, které mohou obsahovat fluorovaná povrchově aktivní činidla se stabilizátory,
- pěnidla tvořící vodní film (AFFF): představující směs uhlovodíků a fluorovaných povrchově aktivních činidel, která mají schopnost tvořit na povrchu některých ropných produktů vodní film,
- fluorproteinová pěnidla tvořící film (FFFP),
- pěnidla odolná alkoholu (AR): která jsou odolná proti rozkladu při aplikaci na povrch hořlavých kapalin mísitelných s vodou, popřípadě na povrchu alkoholu vytvářejí polymerní vrstvu.

Aplikace těchto norem na ověřování hasební účinnosti hasiv pro hašení požárů rostlinných nebo živočišných olejů a tuků je však velmi problematická z následujících důvodů:

- a) Podle ČSN EN 1568-1 až 3 je jako palivo předepsána směs alifatických uhlovodíků, jejichž fyzikální vlastnosti odpovídají následující specifikaci:
 - destilační křivka ($84 \div 105$) °C,
 - největší rozsah mezi počátečním a konečným bodem destilační křivky činí max. 10 °C,
 - největší obsah aromatických látek nepřesahuje 1 %,
 - hustota při 15 °C je $(700 \pm 20) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Při zkouškách hasební schopnosti se obvykle používá heptan, který odpovídá výše uvedené specifikaci.

- b) Podle ČSN EN 1568-4 se jako palivo používá aceton (2-propanon) o čistotě nejméně 99 %.

- c) Paliva používaná podle výše uvedených norem mají výrazně odlišné požárně technické charakteristiky ve srovnání s PTCH jedlých tuků a olejů. Aplikace zkušebních postupů uvedených v těchto normách neodpovídá podmínkám vznícení a hoření jedlých tuků a olejů v kuchyňských a pekárenských zařízeních.

Předností těchto norem je to, že pro dané hasební látky přesně stanoví požadavky na jednotné provedení zkušebního objektu a pěnotvorné proudnice, což činí případné srovnávání hasební činnosti jednotlivých druhů pěny více objektivní.

Velikosti zkušební vany pro střední a lehkou pěnu o vnitřním průměru (1480 ± 15) mm má plochu $1,73 \text{ m}^2$, pro těžkou pěnu o vnitřním průměru (2400 ± 25) mm má plochu $4,52 \text{ m}^2$ a pro polární kapaliny vnitřní průměr rovněž (1480 ± 15) mm a plochu $1,73 \text{ m}^2$. Při pevně nastavených proudnicích dle normovaných zkušebních postupů je vyloučen vliv lidského faktoru na výsledek zkoušky. Podstatným srovnávacím kritériem efektivnosti hasebního účinku je doba uhašení, která se zaznamenává do zkušebních protokolů. Tyto normované zkušební metody hasicí schopností však nezahrnují vliv velikosti plochy hoření na hasební účinnost. Je evidentní, že čím větší bude plocha hoření, tím silnější budou účinky uvolňovaného tepla, a tím větší bude muset být dodávka hasiva.

Další u nás platnou normou, která stanoví zkušební postupy pro zkoušky hasicí schopnosti je ČSN EN 3-7+A1 Přenosné hasicí přístroje – část 7: Vlastnosti, požadavky na hasicí schopnost a zkušební metody [26]. Jak vyplývá z názvu této normy, vztahuje se na přenosné hasicí přístroje s různými druhy hasiv, a zahrnuje proto zkušební postupy a objekty pro třídy požáru A, B, C, D a nově od února 2008 i pro třídu požáru F a zkušební postup a objekt pro hašení polárních rozpouštědel. Předností této normy je, že stanoví pro jednotlivé třídy požáru odstupňované velikosti zkušebních objektů a lépe tak vystihuje vliv velikosti požáru na efektivnost použité hasební látky. Určitým problémem pro objektivní srovnávání hasební účinnosti podle zkušebních postupů na jednotlivé třídy požáru podle této normy je skutečnost, že hašení je prováděno ručně zkoušející osobou a závisí na momentálním stavu lidského faktoru. Smyslem této normy je posoudit hasební schopnost daného technického prostředku – hasicího přístroje, ze které lze pouze odvozovat také účinnost hasební látky.

Doba uhašení je sledována pouze u zkušebních objektů pro třídu požáru A, a to pouze jako limitní 3 min pro zkušební objekt do 21A a 7 min u zkušebních objektů větší velikosti (viz [26] zkušební postup 1, 2, 3, str. 37). Ve všech ostatních případech je limitem pro uhašení

zkušebnímu objektu dané třídy požáru velikost hasicího přístroje. Tato norma pro přenosné hasicí přístroje stanoví také požadavky na hasicí schopnost pro třídu požáru F určené k hašení požárů jedlých olejů a tuků. Na základě dosavadních zkušeností tato norma vylučuje z užívání hasicí přístroje práškové a hasicí přístroje CO₂ k hašení požáru třídy F, protože jejich použití pro tuto třídu požáru se považuje obecně za nebezpečné. Z tohoto důvodu nesmí být tyto hasicí přístroje ani zkoušeny podle uvedené normy.

Zkušební objekty pro třídu požáru F jsou stanoveny ve 4 velikostech podle objemu jedlého oleje ve zkušebním objektu, který činí 5 l, 25 l, 40 l, 75 l s tolerancí + 1 l. Hašení lze provádět pouze z jednoho směru. Hořlavou látkou ve zkušebním objektu je čistý jedlý olej s rozsahem teploty vznícení (330 ÷ 380) °C, samovznícení musí nastat nejdéle do 3,5 hod od spuštění zahřívacího zařízení. Limitujícím faktorem pro daný zkušební objekt je pouze množství náplně dané velikostí hasicího přístroje, které může činit 2, 3, 6 nebo 9 litrů. Po stanovené době volného hoření (120 ± 10) s od samovznícení se vyprazdňuje celý obsah hasicího přístroje bez přerušení z minimální vzdálenosti doporučené výrobcem na typovém štítku přístroje.

Na přenosných hasicích přístrojích používaných v České republice však tato minimální vzdálenost není přímo určena. Omezeno je pouze použití těchto přístrojů pro hašení elektrických zařízení pod napětím do 1000 V z minimální vzdálenosti 1 m, z čehož lze odvodit, že minimální bezpečná vzdálenost pro hašení fritéz je rovněž 1 m.

Požadavek vyprázdnění celého obsahu hasiva v přístroji bez přerušení však neumožňuje stanovit dobu a minimální spotřebu hasiva pro skutečné uhašení zkušebnímu objektu dané velikosti. Dalším požadavkem je, že při hašení nesmí dojít k výstřiku oleje a po uhašení nesmí do 20 minut dojít k opakovanému vznícení ani přetečení paliva. Vzhledem k tomu, že při aplikaci hasiv na zkušební objekty může dojít ke zvětšení plamenů, které mohou být krátkodobě po dobu menší než 2 s vyšší než 2 m, musí být o zkoušce pořízen video záznam. Faktor zvětšení plamenů při aplikaci hasiva je dán lokálním zvýšením rychlosti proudění vzduchu a proudem hasební látky a promítá se i do bezpečnostních požadavků na zkušební prostor. Minimální vnitřní výška tohoto prostoru musí být 8 m a kolem zkušební nádoby musí být minimální vzdálenost 3 m od stěn zkušebny. Rovněž z bezpečnostních důvodů musí být zkoušející osoba vhodně chráněna bezpečným oděvem, ochrannou přilbou, obličejovým štítem a ochrannými rukavicemi.

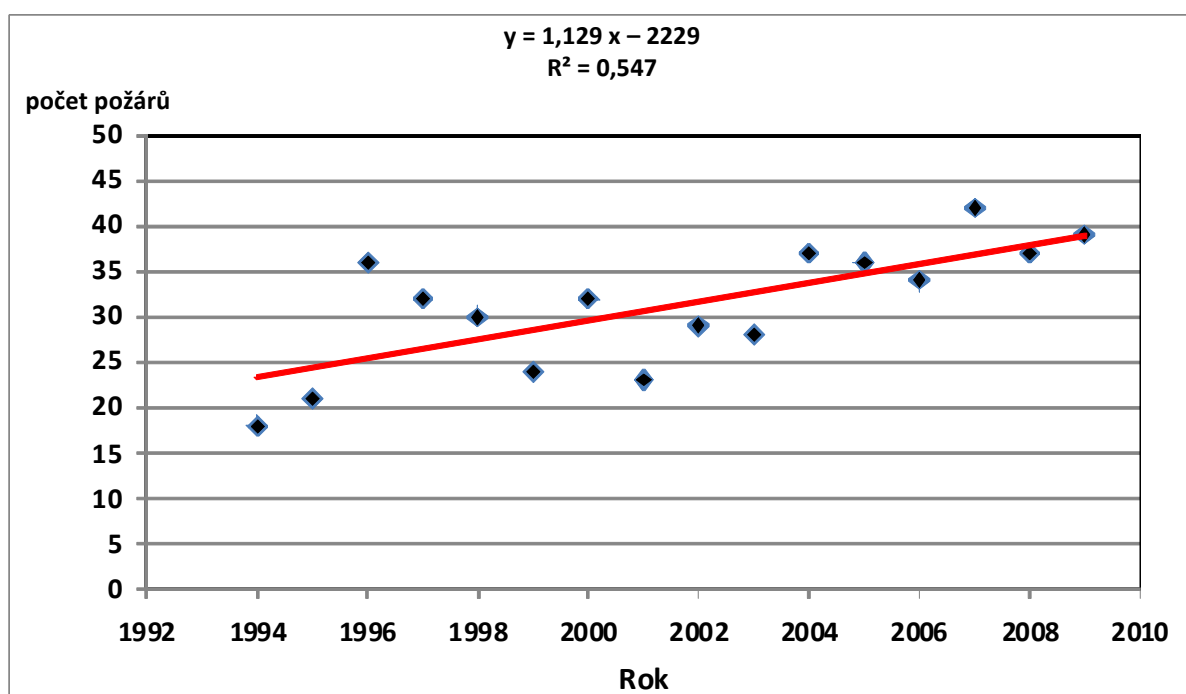
Dalším hasebníím prostředkem, který se objevuje ve vybavení kuchyní, jsou hasicí roušky. Tyto jsou určeny k hašení malých požárů zabráněním přístupu vzduchu. Požadavky na hasicí roušky, které jsou pro jednorázové použití jednou osobou, zejména pro hašení požárů způsobených stolními oleji stanoví ČSN EN 1869:1998 [44]. Tato norma stanoví základní požadavky na provedení roušek a jejich rozměry, u nichž žádná strana nesmí být kratší než 0,9 m a delší než 1,8 m. Hasicí schopnost se ověřuje zkouškou na zkušebním ohni stolního oleje bez příměsí s teplotou vznícení v rozsahu od $(350 \div 370) ^\circ\text{C}$. Zpravidla se používá stolní sojový olej nebo řepkový olej v množství 3 l pro každou zkoušku. Zkušební nádoba má vnitřní průměr (345 ± 5) mm hloubku (100 ± 5) mm a umísťuje se stanoveným způsobem na stole o výšce 0,8 m, jehož rozměry musí přesahovat rozměry hasicí roušky. Olej se zahřívá tak, aby se vznítil během $(25 \div 35)$ min. Po vznícení se nechá po dobu 2 min volně hořet a poté se přes nádobu volně rozvine hasicí rouška tak, aby její střed byl co nejbližší středu nádoby. Po uplynutí 17 min od okamžiku vznícení oleje se hasicí rouška sejme a zjišťuje se, zda nejsou viditelné žádné plameny a během 3 min po sejmutí hasicí roušky nedojde znovu ke vznícení.

Vzhledem k tomu, že hasicí roušky nejsou zahrnuty mezi vyhrazené věcné prostředky požární ochrany podle vyhlášky MV č. 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru [45] a nejsou uvedeny v přílohách MV č. 173/1997 Sb., kterými se stanoví výrobky pro posuzování shody [24], nevyplývá pro ně obecně ani požadavek na jejich schvalování a certifikaci podle ČSN EN 1869:1998. Neschválené hasicí roušky by však v žádném případě neměly být dány do užívání v kuchyňských a pekárenských provozech pro hašení požárů způsobených jedlými oleji a tuky.

4. Požárně bezpečnostní vyhodnocení požárů třídy F

4.1 Vyhodnocení požárů vzniklých v souvislosti s jedlými oleji a tuky v ČR

Počty požárů kuchyňských zařízení ve světě i v ČR mají stále narůstající trend a jsou provázeny vysokými riziky a škodami. Za posledních 15 let se počet těchto požárů více než zdvojnásobil. V České republice vzniklo v období od roku 1994 do roku 2009 celkem 422 požárů od grilů, opékačů a fritéz s celkovou přímou škodou ve výši téměř 52 mil. Kč. Jak se měnily četnosti těchto požárů je patrné z následujícího obr. č. 2 [46]. Těsnost shody odvozené regresní přímky vyjadřuje korelační koeficient $k = 0,74$.



Obr. č. 2 Počet požárů od vybraných kuchyňských zařízení v období 1994 - 2009

Nejčastějším způsobem zapálení hořlavých kapalin je iniciace hořlavého souboru otevřeným zdrojem zapálení (plamen, jiskra). Obecně se hovoří o jejich vzplanutí od zdroje zapálení. Podle bodu vzplanutí ($100 \div 250$) °C se jedlé rostlinné oleje řadí v souladu s ČSN 65 0201 do IV. třídy nebezpečnosti hořlavých kapalin [7]. Z tohoto hlediska jedlé oleje nejsou zvláště nebezpečné, přesto může dojít k jejich zapálení v důsledku elektrického zkratu nebo elektrického oblouku u topného systému fritéz. Příčinou vzplanutí par jedlého oleje uvnitř fritovací nádoby může být i nesprávná obsluha při nedbalém použití vnějšího zdroje zapálení (např. hořícího zapalovače) v těsné blízkosti fritovací nádoby při provozu fritézy.

Další z požárně technických charakteristik hořlavých kapalin je teplota vznícení, tj. nejnižší teplota horkého povrchu, při které se směs plynů a par se vzduchem samovolně vznítí. V závislosti na této teplotě se jedlé rostlinné oleje, vhodné pro fritování, zařazují dle ČSN 33 0371 do teplotní třídy T_2 ($300 \div 450$) °C nebo dokonce T_1 nad 450 °C [18]. Hodnota teploty vznícení u fritovacích rostlinných olejů má důležitý význam, neboť představuje teplotu, která je nebezpečná z hlediska vznícení hořlavých plynů a par od horkého povrchu topného systému fritéz.

Fritovací hrnec – fritéza je v současné době značně rozšířeným elektrickým spotřebičem, bez kterého se neobejde téměř žádná restaurace, jídelna nebo bufet ani pekárna nebo výrobní cukrovinek. Značně jsou rozšířeny i v domácnostech, kde rovněž slouží pro přípravu smažených jídel a potravin. Při smažení ve fritézách se používá velkého množství jedlého rostlinného oleje, jehož teplota při vložení poměrně většího množství potravin klesne jen minimálně. Díky stabilní vysoké teplotě se potraviny nemusí tepelně upravovat tak dlouho, jako při klasickém postupu, proto tolik nenasáknou olejem a jídlo by mělo být chutnější a zdravější. Naproti tomu při smažení na pánvi se používá malé množství oleje, který se při vložení potravin prudce zchladí, proto tímto způsobem nelze dosáhnout stejných výsledků jako při použití fritézy.

Požáry vzniklé od fritéz nejsou ani zdaleka tak nahodilým jevem, jak by se zdálo. V důsledku závad na tepelných pojistkách, termostatech, přívodních šňůrách apod. dochází u pečících a smažících zařízení v průměru k 30 požárům ročně s celkovou škodou kolem 2 miliónů korun.

Fritézu tvoří kovová fritovací nádoba na jedlý rostlinný olej, která bývá různých tvarů – kulatá, čtvercová, obdélníková nebo oválná. Použitým materiálem na jejich výrobu je hliník, hliník potažený teflonem nebo u fritéz v cenově vyšší úrovni ušlechtilá ocel (nerez). Stěny nádob jsou dvojité, izolované, aby se zmenšil odvod tepla po jejich obvodu a omezila možnost popálení při obsluze. Nádoba je kryta odnímatelným nebo odklápěcím víkem, které má zamezit úniku pachů, páry a také ztrátám tepla. Víko bývá často opatřeno tukovým (uhlíkovým) filtrem a může mít i průhledné okénko k vizuální kontrole potravin, které může být opatřeno zařízením ke stírání kondenzované páry zevnitř. Pod víkem na zadní části fritézy bývá umístěna odkapávací nádobka na kondenzát (sraženou vodu) stékající s víka při otevření, která zabraňuje skapávání vody do oleje. Potraviny se do nádoby vkládají ve fritovacím koši, který má pevně spojené nebo oddělené madlo. U fritéz vybavených okénkem ve víku bývá možnost nadzvednutí koše pro kontrolu potravin bez otevření víka fritézy.

Podle způsobu umístění topného tělesa rozlišujeme v podstatě dva typy fritéz:

- s topným tělesem zabudovaným ve dně nádoby - těleso je nerozebíratelné, skryté, obtížně čistitelné,
- s topným tělesem odnímatelným, ponořeným v oleji – umožňuje snadné mytí fritézy.

Vylepšenou modifikací prvního typu se skrytým topným tělesem je tzv. rotofritéza s nakloněnou nádobou a rotujícím košem, která umožňuje úsporu fritovacího oleje.

Termostat zapíná topné těleso při poklesu teploty oleje a vypíná při dosažení nastavené teploty. Používají se tři možnosti jeho provedení:

- a) s pevně nastavenou teplotou, obvykle (180/190) °C,
- b) se dvěma přepínatelnými teplotami s možností volby,
- c) s plynulou regulací, obvykle v rozsahu (150/190) °C.

Kontrolní a ovládací prvky zpravidla umístěny na čelním ovládacím panelu představují:

- kontrolka teploty – indikuje zapnutí topného tělesa, zhasnutí signalizuje dosažení nastavené fritovací teploty,
- tepelná pojistka – slouží k přerušení (odpojení) napájení při poruše termostatu nebo při spuštění fritézy bez olejové náplně, resp. při nedostatečném množství oleje, kdy nádoba dosáhne vyšší teploty než je maximálně nastavitelná pomocí termostatu,
- spínač – pro zapnutí a vypnutí fritézy,
- regulátor teploty – u fritéz opatřených nastavitelným termostatem,
- časový spínač – pro nastavení doby tepelné přípravy potravin,

Fritéza je elektrický spotřebič s vysokým příkonem, obvykle (1500 ÷ 2200) W. Jištění elektrických zásuvek musí být proto min. 10 A. Přívodní šňůra se třemi vodiči pro připojení k elektrické síti 230 V/50 Hz je k fritéze trvale připevněna. Nádoba (skříň) fritézy musí být propojena s ochranným vodičem pro zabránění úrazu elektrickým proudem při nebezpečném dotyku. Nefunkční nebo poškozené jistící prvky fritovacího zařízení mohou způsobit, že topná tělesa pracují v neregulovaném režimu na maximum, což pak může vést k požárům v důsledku vznícení par olejů nebo mastných nečistot buď přímo v prostoru fritézy, nebo nad ní v digestoři. Iniciátorem požáru se tak velmi často stává topné těleso fritézy, po selhání regulace teploty, při nekontrolovaném provozu, bez přítomnosti obsluhy a nedodržování pokynů výrobce pro použití fritéz v gastronomických zařízeních nebo fritovacích hrnců v domácnostech. Zplodinami hoření, sazemi a teplem jsou zpravidla zasaženy veškeré okolní

předměty a zařízení. Vzduchotechnickým zařízením znečištěným kondenzačními zplodinami z kuchyňského provozu se pak požár může šířit i do dalších prostor.



Obr. č. 3 Celkový pohled na přípravnu jídel s fritézou po požáru



Obr. č. 4 Fritéza po požáru

Pro fritování je v návodech stanoveno používat jen kvalitní čerstvý jedlý rostlinný olej, který je pro fritování určen. Fritovací oleje mají vyšší tepelnou odolnost. Je také nepřipustné míchat více druhů oleje dohromady. Fritézy se nesmí zapínat bez náplně oleje. U fritovacích hrnců

pro domácnost je obsah oleje (1 až 2,5) litru. Velkokapacitní fritézy mají základní objem oleje 75 litrů a více, přičemž nádoby mohou být zdvojené i ztrojené.

Tabulka č. 14 Požárně technické charakteristiky vybraných rostlinných olejů [49]

Druh oleje	Hustota [kg·m ⁻³]	Teplota vzplanutí [°C]	Teplota vznícení [°C]
řepkový olej	920	163	447
sojový olej	960	140	460
slunečnicový olej – rafinovaný.	913	229	370
olivový olej – rafinovaný	908	225	343

Z rozboru příčin vzniku požárů u těchto zařízení, který vycházel ze zpráv o požárech prováděných na TÚPO Praha vyplynulo, že právě výše uvedené nedostatky, tj.:

- nefunkční nebo poškozené jisticí prvky fritéz,
- záměrné odpojení regulačních prvků,
- nedodržování technologie ohřevu a kvality olejů,

byly hlavními příčinami vzniku požáru při užívání fritéz s rostlinnými jedlými tuky a oleji [48].

4.2 Vliv technologických podmínek na vznik a šíření požáru

Odborová profesní organizace zaměstnanců v potravinářském odvětví a pohostinství ve Spolkové republice Německo realizovala v roce 1999 rozsáhlý projekt [25], který měl na základě praktických pokusů poskytnout odpovědi na otázky týkající se umístění a provozu fritovacích zařízení a jejich protipožární ochrany. Na tomto projektu se podílelo 27 institucí a firem z celého Německa. Z prováděných pokusů byly vyloučeny fritézy s objemem náplně větší než 50 litrů, které musí být podle německých předpisů vybaveny samočinným hasicím přístrojem nebo zařízením. V České republice obdobné předpisy nejsou zavedeny. Existuje přitom i u nás řada velkokapacitních pekárenských provozů, ve kterých jsou používány smažicí fritézy o objemech mnohem větších. Celá řada pekáren ve velkých městech krajského a okresního významu používá fritézy o objemu kolem 150 l, viz obr. č. 5.



Obr. č. 5 Fritéza o objemu 150 l

Největší pekárny, mezi něž patří také Michelská pekárna a.s. v Praze, používají „průběžné“ fritézy. Objem jedlého tuku v takové fritéze činí 680 l. Její smažicí linka byla uvedena do provozu v roce 1995. Koncem 90. let došlo na této lince k požáru v důsledku porušení technologického postupu rozechřívání ztuženého palmového tuku. Průběžná smažicí fritéza (viz obr. č. 6) má čtyři teplotní zóny. Smažení probíhá zpravidla při teplotě olejové lázně ($165 \div 170$) °C a doba smažení činí 6 minut.



Obr. č. 6 Pohled na průběžnou fritovací linku o objemu 680 l

Ztužený palmový tuk se dodává v balení po 20 kg. Pro použití ve fritéze se předem rozehrívá a taví v odděleném zásobníku s vyhřívacím parním šnekovým potrubím při teplotě 50 °C. Kvalita palmového fritovacího tuku je pravidelně kontrolována měřením pH lakmusovým papírkem. Čistý rozpuštěný palmový tuk je zásaditý s pH 12,5. Posuzování kvality použitého tuku se provádí také na principu Alkali-colorimentrie porovnáváním barvy vzorku ve zkumavce s referenční stupnicí. Výměna tuku ve fritovací lince se provádí zpravidla po 10 dnech a závisí na délce provozu v jednotlivých dnech. Kontrolní měření teploty se provádí ve stanovených intervalech bezdotykovým teploměrem.

Protipožárními prostředky v uvedeném provozu jsou dvě hydrantové skříně, naštěstí zpravidla nepřístupné, 2 ks CO₂ hasicích přístrojů a práškový hasicí přístroj s ABC práškem viz obr. č. 7.



Obr. č. 7 Protipožární vybavení smažící linky

Obdobně jsou vybaveny i ostatní potravinářské a restaurační provozy v České republice.

Vliv použití ztuženého tuku v blocích

V restauračních a pekárenských provozech se zpravidla používá ztužený palmový tuk, který je cenově výhodnější a snadněji skladovatelný. Dodává se balený v blocích á 10 kg nebo 20 kg na paletách. Před použitím se ztužený tuk krájí na kusy o hmotnosti cca 3 kg odpovídající

velikosti fritovací vany. Častou příčinou požáru se stává vložení ztuženého tuku přímo na topné těleso fritézy po vyjmutí fritovacího koše.

Pokusy prováděné v Německu v rámci projektu BGN (Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten) v roce 1999 [25] prokázaly, že výše uvedený způsob tavení ztuženého tuku je nebezpečný a vede zpravidla k jeho vzplanutí. Při pokusu s fritézou o objemu 10 l a příkonu 16 kW se topné těleso znatelně rozžhavilo, kusy tuku se začaly zespoda na topném tělese tavit a odkapávat do nádoby nejprve jako kouřící, později jako hořící kapky. Po době ohřevu 2 min 35 sekund začaly z fritézy kolem zbylého ztuženého tuku šlehat plameny. Obdobný byl výsledek při uložení nakrájených bloků ztuženého tuku do fritovacího koše ve fritéze. Po zapnutí fritézy se topné těleso rozžhavilo, ztužený tuk se začal zespodu v koši tavit a kapat do vany, nejprve jako kouřící, později jako hořící kapky. Po době ohřevu 1 minuta 2 sekundy začaly z fritézy kolem zbylého ztuženého tuku v koši šlehat plameny. Z provedených pokusů vyplynulo, že pro zabránění vzniku požáru vznícením ztuženého tuku v blocích je nutno před plněním fritézy ztužený tuk předem rozpustit v pomocné nádobě.

Vliv použití „starého“ – „přepáleného“ tuku

Při zahřátí živočišných a rostlinných tuků a olejů dochází k jejich rozkladu, což může mít za následek změny jejich hořlavých vlastností. Rychlost rozkladu tuku ovlivňují různé aspekty, jako např. stáří tuku, teplota tuku, znečištění tuku zbytky smažených potravin, usazeniny na stěnách fritovací vany, fritovacích koších a topných tělesech apod.

Při přepálení tuku vzniká štiplavý kouř a tvoří se drobné hnědočervené částičky a původní světlá barva tuku se postupně zbarví dohněda. Na hladině tuku pak dojde ke vznícení uvolněných plynů a par. Tento proces je závislý na bodu vzplanutí, teplotě vznícení a přítomnosti kyslíku, např. při otevřené nebo zakryté fritéze.

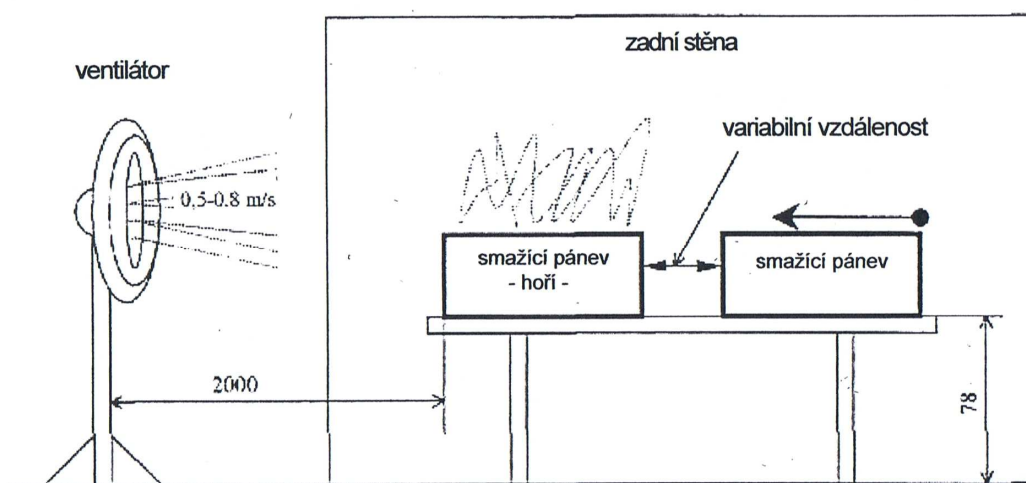
V rámci projektu BGN byl při pokusech použit „starý“ tuk, jehož provozní doba činila 15 hodin a byl použit na smažení řízků, hranolků a ryb. Po 12 minutách byl patrný stále se zesilující vývoj kouře. Po 20 minutách byl dým tak silný, že nebylo vidět hladinu tuku. K samovznícení tuku došlo po 23 minutách při teplotě 337 °C až 374 °C. Již 1 minutu po vznícení šlehaly plameny do výšky 1 metr.

Ve srovnání použitých tuků, „přepálených“ tuků a „čerstvých“ nepřepálených tuků nebyl zjištěn žádný výrazný rozdíl v teplotě vznícení. Obdobné srovnání bylo učiněno při

praktických pokusech hašení v TÚPO Praha uvedených v části II. této práce. Přepálení tuku nezvyšuje ani nesnižuje nebezpečí jeho vznícení. U přepálených tuků lze však pozorovat vyšší stupeň vývinu kouře.

Vliv odstupové vzdálenosti mezi fritézami

V praxi se zejména v restauračních zařízeních objevuje nutnost použití skříňových fritéz s více fritovacími vanami nebo umístění přenosných stolních fritéz nebo i smažicích pánví vedle sebe pro souběžnou přípravu několika různých produktů. Cílem projektu BGN bylo také provedení řady pokusů pro zjištění nebezpečné vzdálenosti mezi fritovacími zařízeními, při které nedojde k přenosu plamene na sousední zařízení. K pokusu byly použity dvě stolní smažicí pánve běžné obchodní značky s vnějšími rozměry 700 mm x 700 mm a výšce 192 mm s objemem náplně 30 litrů a příkonem 5,4 kW. Smažicí pánve byly umístěny ve vzdálenosti 1 m od sebe na stejné výškové úrovni. Ve vzdálenosti 2 m od přístrojů byl postaven ventilátor, který produkoval boční proud vzduchu o rychlosti (0,5 ÷ 0,8) m/s a tím simuloval případný průvan, který může vzniknout při otevřených dveřích a oknech, viz obr. č. 8. Bezpečnostní zařízení jedné smažicí pánve (termostat/rugulátor teploty) bylo vyřazeno z provozu. Obě pánve byly naplněny tukem.



Obr. č. 8 Schéma uspořádání zkušebního zařízení

Jedna smažicí pánve byla zahřátá na 180 °C a udržována na této teplotě. Druhá smažicí pánve byla rozežhřátá až na teplotu vznícení tuku (cca 337 °C) a poté byla vypnuta. Ventilátor byl zapnut, takže proudem vzduchu se plameny z hořící smažicí pánve začaly sklánět směrem k nehořící smažicí pánvi. Nehořící smažicí pánve o teplotě 180 °C byla postupně posunována v krocích 100 mm směrem k hořící smažicí pánvi, přičemž každá plocha byla až do vzdálenosti 500 mm zachována po čekací dobu 3 minut. Počínaje vzdáleností mezi přístroji

500 mm byla v rozmezí (500 až 100) mm každá poloha zachována po čekací dobu 5 minut. Při vzdálenosti 500 mm se začaly tavit ovládací knoflíky a elektronika shořela. Až do vzdálenosti mezi přístroji 100 mm a při zachování čekací doby 5 minut nedošlo k přeskočení plamenů na vedlejší smažicí pánev, která byla udržována na teplotě 180 °C.

Vedlejší smažicí pánev se vznítila teprve po těsném přisunutí přístrojů vedle sebe (bez odstupu) po uplynutí 10 minut 54 sekund.

Pokusy ukázaly, že po dobu 10 minut nedojde k přeskočení plamenů. Pokud trvá požár déle, začne hořet i druhé fritovací zařízení. Vzhledem k tomu, že při vzdálenosti 500 mm se začne tavit elektroinstalace a může dojít ke zkratu s následným vznícením, doporučuje se dodržovat mezi jednotlivými fritovacími přístroji vzdálenost minimálně 600 mm, aby bylo s jistotou vyloučeno riziko přenesení plamene.

5. Volba zkušební metody a zkušebního zařízení pro hašení požáru třídy F

Vzhledem k tomu, že normalizované zkušební metody a podmínky pro stanovení hasicí schopnosti uvedené v kapitole 3.2 teoretické části této práce nejsou kompatibilní pro všechny okruhy hasebních prostředků a hasiv, bylo nutno v zájmu objektivního posouzení a vyloučení subjektivního vlivu lidského faktoru při zkouškách stanovit vhodnou zkušební metodu a zkušební zařízení, které by zajistilo vytvoření stejných podmínek pro jednotné posouzení vybraných hasiv.

Za základ pro volbu zkušební metody byla vzata ČSN EN 3-7+A1 pro přenosné hasicí přístroje. Zkoušky hasicí schopnosti podle této normy jsou prováděny zkoušející osobou, která musí mít oděv vhodný pro tento účel a může pro svou ochranu použít přilbu, rukavice a schválený obličejový štít. Výsledek zkoušky prakticky závisí na znalostech, schopnostech a zkušenostech zkoušející osoby.

Uvedená norma je koncipována pro ověření hasební schopnosti hasicího přístroje jako celku. Dle informace od bývalého vedoucího konstruktéra, dnes obchodního ředitele jednoho z největších výrobců hasicích přístrojů v Evropě, FLN – Feuerlöschgeräte Neuruppin, Dr. Ing. Wolfganga Krügera, je hasicí schopnost u přenosných hasicích přístrojů ze 70 % závislá na účinnosti hasiva a z 30 % na jeho konstrukci, především na provedení trysky a způsobu podání hasiva do zóny hoření.

Tato fakta však zpochybňují objektivnost posouzení hasební schopnosti samotných hasiv, proto v rámci prováděných následných experimentů byla snaha stanovit pro ověření hasební schopnosti vybraných hasiv takové podmínky, které by vyloučily vnější vlivy. Za základ pro posouzení efektivnosti hasiva nebyla vzata objemová velikost hasicího přístroje jako u citované evropské normy, ale minimální spotřeba a čas uhašení daného zkušebního objektu při stabilním pevném uchycení proudnice.

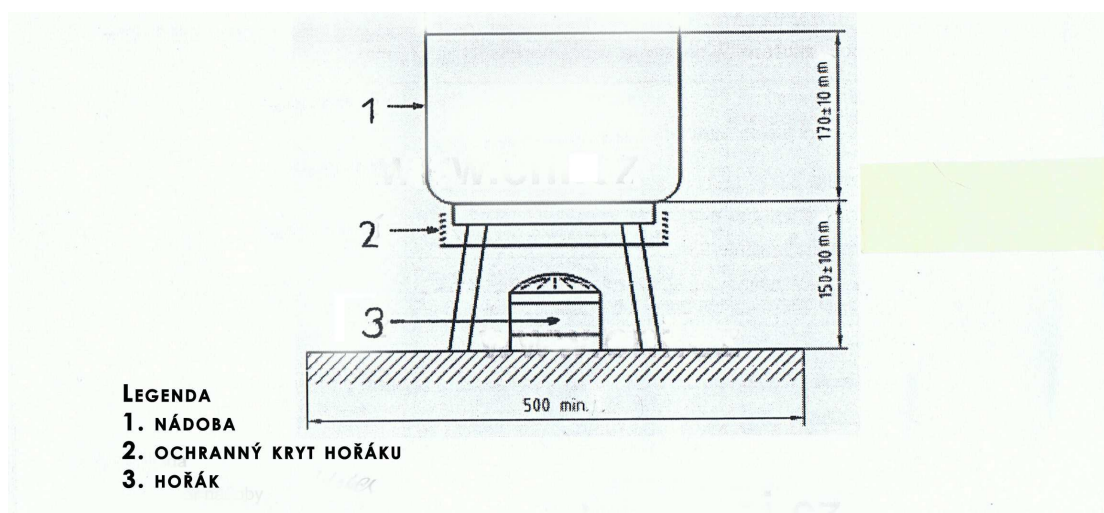
5.1 Zkušební objekt pro stanovení hasební schopnosti na třídu požáru F

5.1.1 Vlastnosti zkušebního objektu

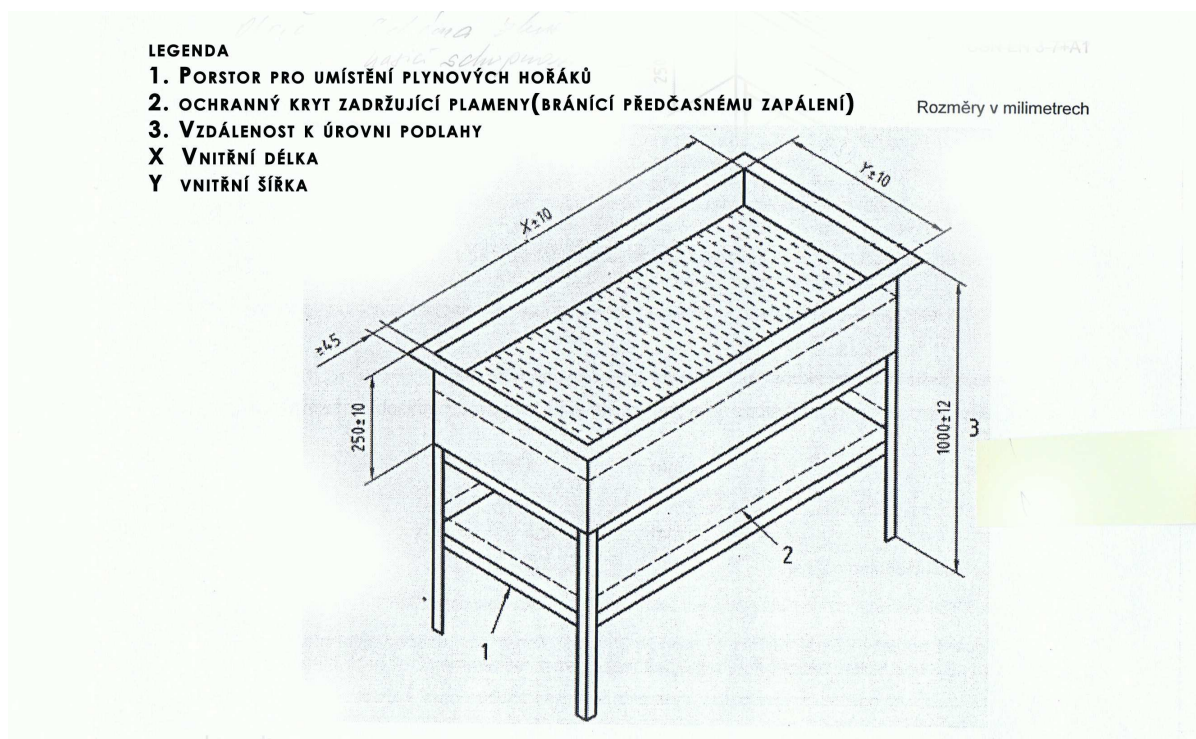
Pro přípravu experimentálních zkoušek jsem zvolil následující parametry:

- velikost zkušebního objektu 5F a 25F,
- typ trysky – mlhová, pracovní tlak na trysce 1,5 MPa,
- výška trysky hasicího přístroje nad hladinou oleje 1 m,
- vzdálenost trysky od hladiny oleje rovněž 1m, pod úhlem 45°.

Vzhledem k předpokládanému počtu zkoušek a omezeným finančním prostředkům byly zvoleny zkušební objekty odpovídající dle ČSN EN 3-7+A1 pro hasicí schopnost 5F pro 5 litrů oleje a 25F pro 25 litrů oleje.



Obr. č. 9 Schéma zkušebního objektu pro zkoušky hasicí schopnosti 5F



Obr. č. 10 Schéma zkušebního objektu pro zkoušky hasicí schopnosti 25F

ČSN EN 3–7+A1 má pro rozměrové požadavky zkušebnímu objektu 5F několik nejasností:

- Není udán průměr nádoby, pouze její výška (170 ± 10) mm a tloušťka plechu ($2,0 \pm 0,25$) mm, takže tento zkušební objekt může představovat široká pánev s tenkou vrstvou oleje na povrchu, stejně jako hrnec o malém průměru naplněný až po okraj. Tyto podmínky nejsou při hašení srovnatelné.
- Není stanovena výška zkušebnímu objektu od podlahy, je udána pouze výška opěrné konstrukce pro nádobu, která je (150 ± 10) mm a minimální průměr podkladu pro tuto opěrnou konstrukci 500 mm. Poloha umístění zkušebnímu objektu může rovněž ovlivnit hasební účinnost.
- Výkon hořáku a rozměr ochranného krytu pro zabránění zapálení oleje od plamenů hořáku není normou stanoven a je nutno tyto parametry odzkoušet podle typu použitého hořáku.

U zkušebnímu objektu 25F jsou rozměry zkušebnímu objektu udány přesně, stejně jako jeho výšková poloha viz obr. č. 10. Dle uvedené normy vnitřní délka vany činí (578 ± 10) mm a její vnitřní šířka (289 ± 10) mm. Při verifikaci tohoto objektu praktickou zkouškou problém představovala pouze neudaná šíře ochranného krytu hořáku, která musela být několikrát upravována, než byly splněny podmínky zabránění předčasnému zapálení od plamene hořáku.

5.1.2 Popis zkušebnímu zařízení

Po ověřovacích zkouškách a opravách byly rozměry použitých zkušebních objektů pro plánované experimenty ověření hasiv pro třídu požáru F následující:

Pro zkušební objekt 5F:

vnitřní průměr nádoby	345 mm
výška nádoby	170 mm
výška stojanu	730 mm.
polohová výška horního okraje nádoby nad úrovní podlahy	900 mm
rozměry horní desky stojanu	(910x610) mm
typ hořáku	H 60 (Propan-butan)
výkon hořáku	4,4 kg/h

Pro zkušební objekt 25F:

šířka nádoby	285 mm
délka nádoby	575 mm
výška nad úrovní podlahy	1000 mm
rozměr horní desky stojanu	(600x310)mm
typ hořáku	H 60 (Propan-butan)
výkon hořáku	4,4 kg/h

Ochranný límec hořáku u zkušebního objektu 25F, jehož šířka není normou stanovena, byl postupně prodloužen až na 420 mm. Skutečné provedení zkušebního objektu 5F je patrné na obr. č. 11 a zkušebního objektu 25F na obr. č. 12.



Obr. č. 11 Celkový pohled na uspořádání zkušebního objektu 5F



Obr. č. 12 Celkový pohled na uspořádání zkušebního objektu 25F

5.2 Zkušební podmínky

ČSN EN 3–7+A1 klade následující požadavky na zkušební prostor:

- vnitřní výška budovy musí být minimálně 8 m,
- zkušební nádoba musí mít minimální vzdálenost 3 m od stěny zkušebny.

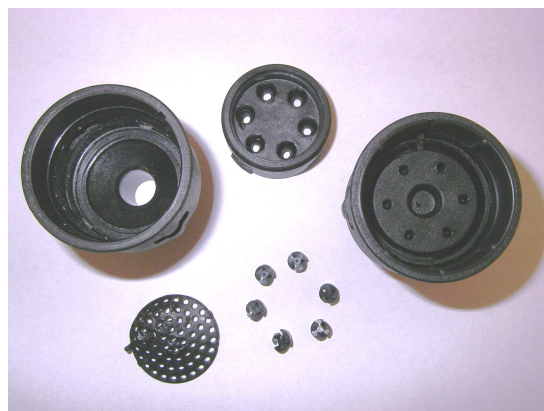
Zkoušky byly prováděny ve zkušební hale TÚPO v Praze 4 Modřanech, která má světlou výšku 9,5 m a podlahovou plochu 12 m x 12 m, čímž podmínky stanovené EN 3 z hlediska bezpečnosti splňuje. V zájmu zajištění podmínek opakovatelnosti zkoušek a snížení vlivu lidského faktoru na jejich výsledek byly na rozdíl od požadavku uvedené normy stanoveny další podmínky pro umístění hasicího zařízení:

- pro hasební objekt 5F byl zvolen pro hasivo Fettex i Neufrol M, jednotný typ přenosného hasicího přístroje T 2 PMDS. Jedná se o přístroj produkce FLN Neuruppin, přístroj má klasickou mlhovou trysku a hasivo se v něm nachází pod tlakem dusíku 1,5 MPa.



Obr. č. 13 Hasicí přístroj T 2 PMDS

- pro zkušební objekt 25F byl zvolen pro všechny druhy hasiv na bázi vodných roztoků jednotný typ přenosného hasicího přístroje pod stálým tlakem T 9 PMDS, rovněž značky FLN Neuruppin opatřený hadicí zakončenou univerzální mlhovou tryskou pro pěnové i vodní hasicí přístroje, kterou používá v současné době většina evropských výrobců přenosných hasicích přístrojů. Rovněž tento typ hasicího přístroje je tlakován dusíkem na 1,5 MPa.



Obr. č. 14 Hasičský přístroj T 9 PMDS

Jednotně byly pro všechny zkoušky stanoveny parametry výšky trysky nad okrajem zkušební vany, vzdálenosti trysky od středu vany a úhel sklonu trysky na hladinu. Stanovená vzdálenost 1 m od středu zkušební nádoby vycházela z minimální odstupové vzdálenosti stanovené u těchto přístrojů pro hašení elektrických zařízení pod napětím a ani pro hašení jedlých olejů a tuků by neměla být z bezpečnostních důvodů kratší. Jiná vzdálenost nebyla výrobcem stanovena. Výška nad okrajem fritézy a úhel sklonu proudnice vycházely z úvahy o maximálním využití hasiva na celou plochu olejové lázně ve zkušebním objektu.

Tyto parametry zřejmě nejsou nejvhodnější pro zajištění maximálního hasicího účinku. Jejich experimentální stanovení však přesahovalo rámec daných možností. Podle ČSN EN 3-7+A1 nejsou kladeny specifické podmínky na teplotu okolního prostředí. Tato se může pohybovat v rozsahu plusových teplot od 0 °C do 30 °C. Zkoušky v TÚPO Praha probíhaly při teplotách od 15 °C do 20 °C.

5.3 Zkušební postup

Dle zkušebního postupu stanoveného ČSN EN 3-7+A1 [26] je nutno čistý jedlý olej s rozsahem teploty vznícení od 330 °C do 380 °C zahřívat vhodným zahřívacím zařízením, až dojde k jeho vznícení, které musí nastat nejdéle do 3,5 hod od zahájení zahřívání. Po samovznícení oleje se vypne zdroj tepla a oheň se nechá volně hořet po dobu (120 ± 10) sekund. Poté se začne s hašením. Hašení se může provádět pouze z jednoho směru u

obdélníkových zkušebních objektů F25, F40 a F75 z jedné libovolné boční strany zkušební vany. Při zkoušce se vyprazdňuje celý obsah hasicího přístroje bez přerušení z minimální vzdálenosti podle doporučení výrobce na typovém štítku. Zkušební objekt musí být uhašen a nesmí dojít k jeho opakovanému vznícení ani přetečení paliva v průběhu 20 minut po úplném vyprázdnění hasicího přístroje. To znamená, že přístroj je nutné úplně vyprázdnit na zkušební objekt bez ohledu na to, že již došlo k přerušení hoření.

Vzhledem k tomu, že cílem zkoušek bylo stanovit hasicí účinnost dané hasební látky, byl tento postup upraven tak, že hašení probíhalo do prvního projevu úplného přerušení hoření (uhašení plamenů ve zkušebním objektu). Čas přerušení hoření byl zaznamenáván. V případě, že došlo k opětovnému vzplanutí, bylo v hašení pokračováno a při projevu opětného uhašení byl znovu zaznamenán čas. Tento postup mohl být opakován až do úplného uhašení (tj. úspěšného zakončení zkoušky) nebo do úplného vyčerpání hasiva v přístroji (tj. neúspěšné zkoušky hašení). Vzhledem k vývinu par a po vznícení k vývinu zplodin hoření, které znemožňovaly pobyt ve zkušební hale, byl v průběhu zkoušek ve zkušební hale zapnut odtahový ventilátor.

5.3.1 Způsob a rozsah prováděných měření

V rámci prováděných zkoušek byly měřeny následující parametry a hodnoty:

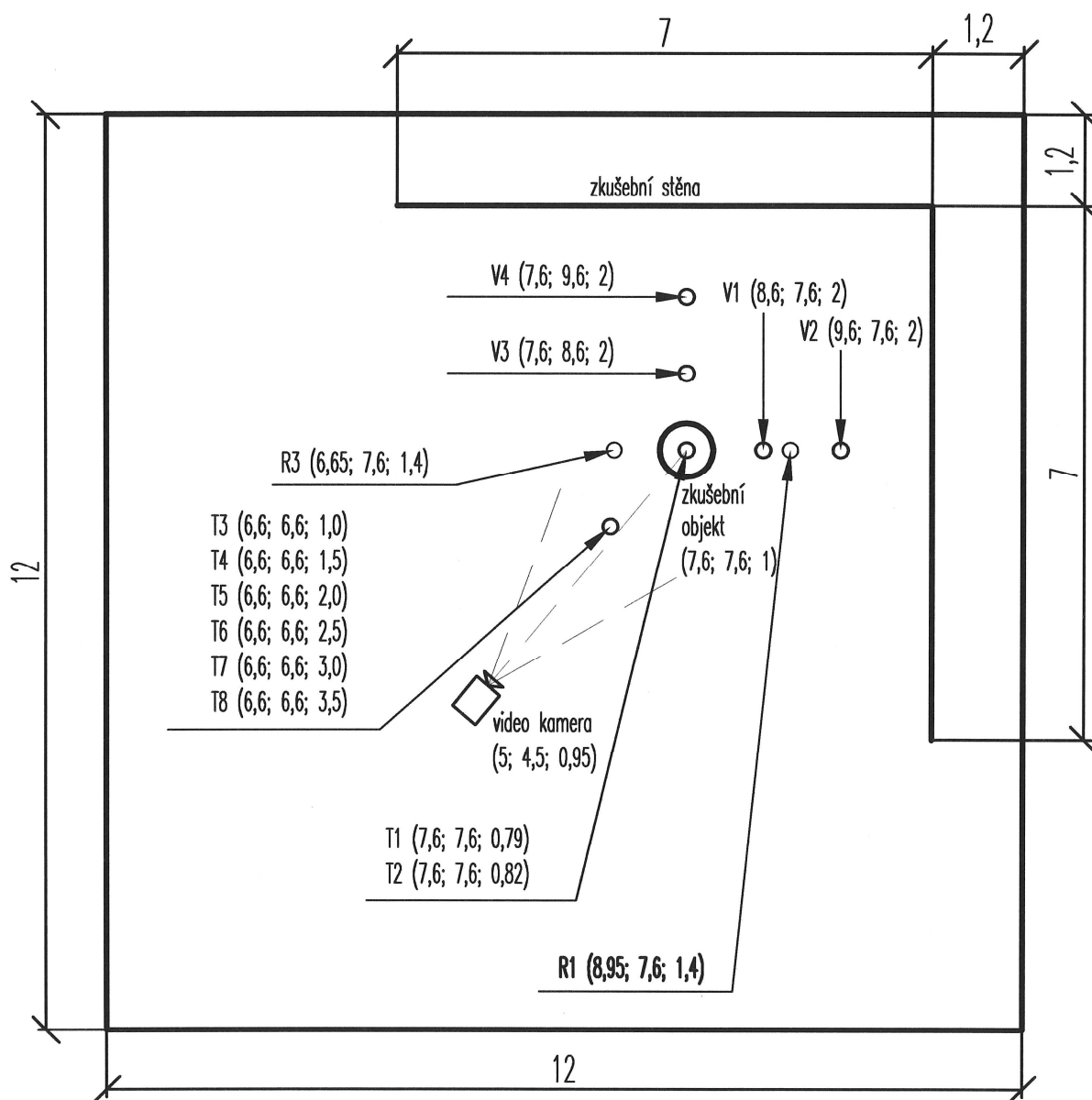
- teplota vzduchu před zahájením zkoušky,
- teplota oleje při vznícení pomocí vložených termočlánků do nádoby,
- doba zahřívání do vznícení oleje (pokusy, u kterých nenastalo vznícení v limitu do 3,5 hod., byly ukončeny),
- doba volného hoření po vznícení a vypnutí ohřevu ($120 + 10$) s do zahájení hašení,
- výška plamenů (byla určována podle měřicí tyče a snímána kamerou),
- stav oleje ve zkušební nádobě po uhašení.

Nad rámec požadavků normy byly sledovány další parametry:

- teplota vzduchu kolem zkušebního objektu při vznícení oleje,
- rychlost proudění vzduchu v hale během zkoušky,
- doba uhašení,
- počet opětovných vznícení,
- celková hmotnost hasicího přístroje před zkouškou a po uhašení oleje,

- hustota toku tepla v blízkosti zkušebního objektu,
- hlavní toxikanty vznikající při hoření objektů hasivý Fettex, Neufrol a Fire Ade 6%

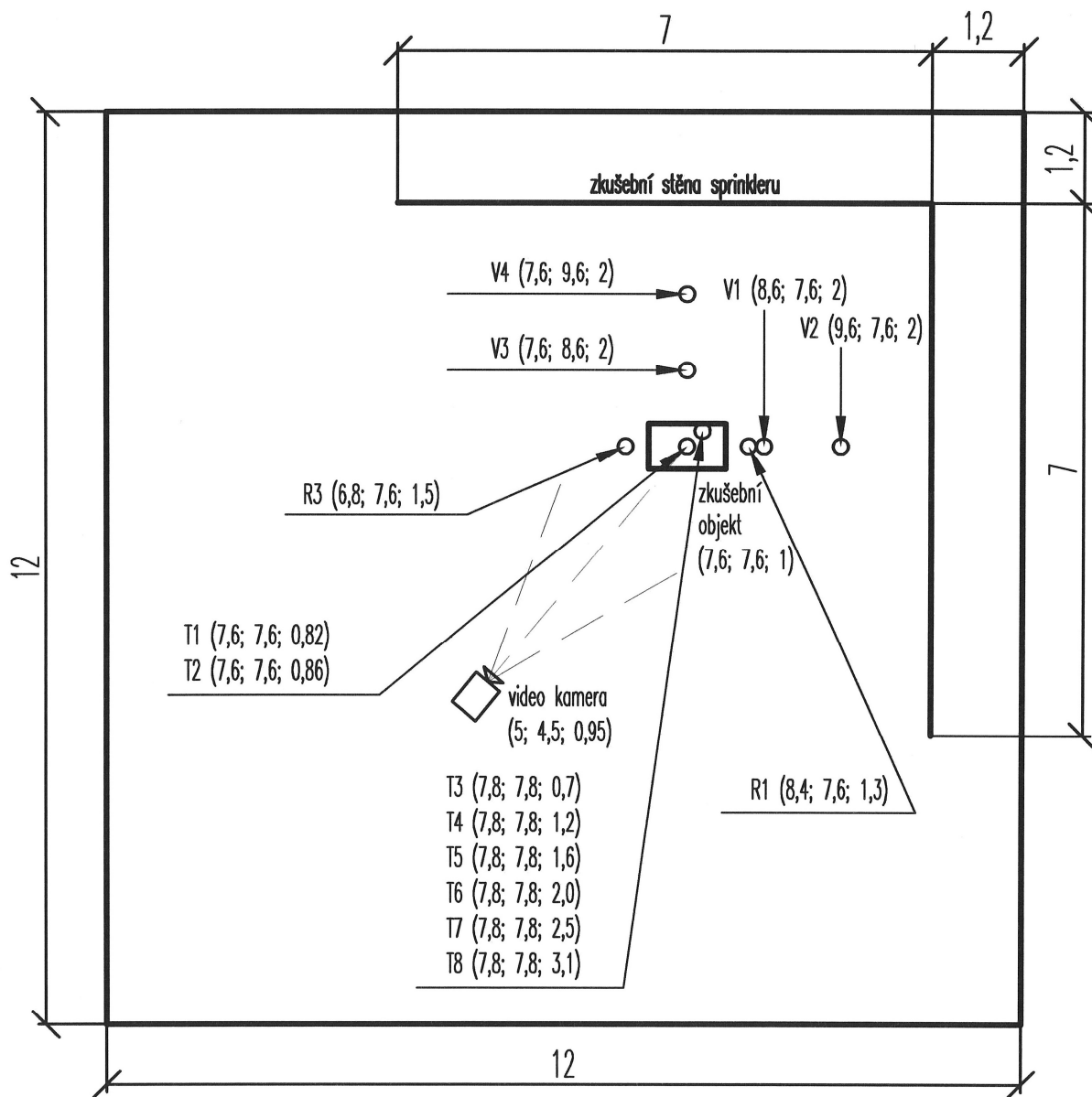
Schéma rozmístění měřicího zařízení při zkouškách č. 1 a 2 pro zkušební objekt 5F je znázorněno na následujícím obrázku č. 15.



Obr. č. 15 Schéma pozic měřidel u zkušebního objektu 5F při zkouškách č. 1 a 2

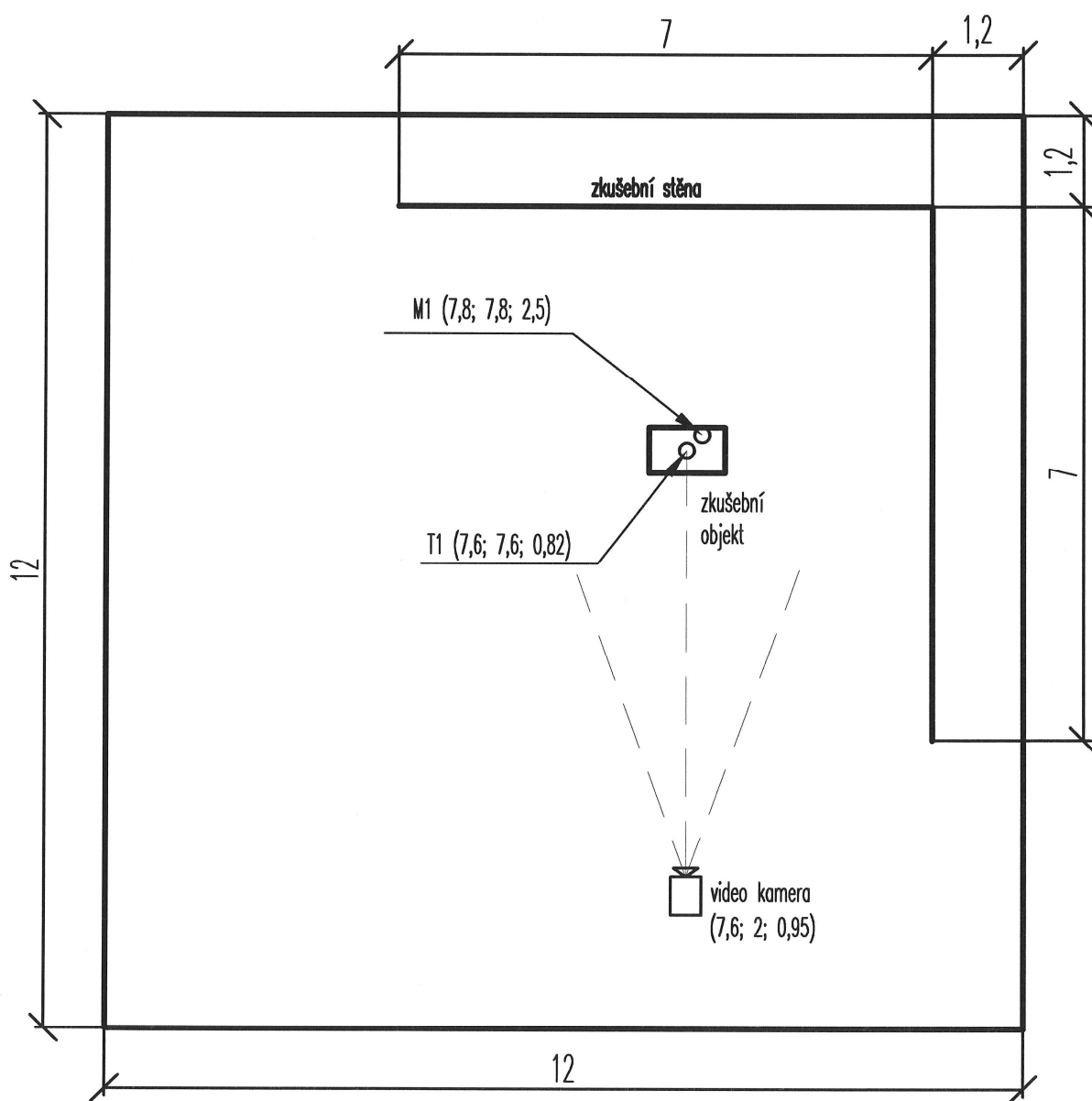
Legenda: R₁ a R₃ - radiometry, T₁ až T₈ - termočlánky, V₁ až V₄ - termoanemometrické čidlo. Pozice měřidel ve zkušební hale je uváděna souřadnicemi x,y,z (v závorce za symbolem měřidla), souřadnice x,y mají počátek v levém dolním rohu zkušební haly, souřadnice z jsou měřeny od podlahy zkušební haly (z = 0).

Schéma uspořádání zkušebního zařízení a měřících přístrojů ve zkušební hale TÚPO při zkouškách č. 3 až 5 na zkušebnímu objektu 25F je znázorněno na obrázku č. 16.



Obr. č. 16 Schéma pozic měřidel u zkušebnímu objektu 25F při zkouškách č. 3 až 5

Vzhledem k objektivním problémům při zkouškách ve zkušební hale TÚPO, které mohly být prováděny pouze v době, kdy zkušební hala nebyla užívána pro plánované certifikační zkoušky, bylo upraveno schéma uspořádání zkušebního zařízení: viz následující obrázek č. 17. Na základě zkušeností z předchozích měření byl zjednodušen systém dalšího měření na jeden termočlánek typu K s napojením na měřicí ústřednu.



Obr. č. 17 Schéma pozic měřidel u zkušebního objektu 25F při zkouškách č. 6 až 21

Vysvětlivky:, M_1 analyzátor plynu Testo 350, T_1 termočlánek, pozice měřidla ve zkušební hale je uváděna souřadnicemi x, y, z (v závorce za symbolem měřidla), souřadnice x, y mají počátek v levém dolním rohu zkušební haly, souřadnice z jsou měřeny od podlahy zkušební haly ($z = 0$).

5.3.2 Měřicí zařízení a přístroje

Pro provedení zkoušek ve zkušebně TÚPO Praha byly použity následující měřicí přístroje:

Měřicí zařízení a přístroje:	Evidenční čís.:	Platnost kalibrace do:
stopky	604	18. 02. 2013
stopky	609	02. 03. 2014
laboratorní váhy METTLER	700	26. 04. 2010
laboratorní váhy Tona	710	13. 06. 2011
teploměr a vlhkoměr Boneco	834	06. 11. 2010
aneroid	808	15. 10. 2010
termočlánek NiCr – Ni	229	10. 02. 2010
délkové měřítko 5 m	507	14. 10. 2013
videokamera	21	-
pravítko 3 m pro orientační měření výšky plamenů	-	-

6. Ověření PTCH olejů použitých při zkouškách

Znalost požárně technických charakteristik hořlavých látek je základním předpokladem pro úspěšné provedení hasebního zásahu, neboť chování hořlavých látek v procesu hoření může do značné míry ovlivnit účinnost použitého hasiva. Proto bylo nezbytně nutné pro objektivizaci zkoušek hasební schopnosti vybraných hasiv také přesně stanovit PTCH hořlavých látek použitých při jejich provedení. [49].

V rámci řešení této práce byly experimentálně stanoveny v laboratoři Technického ústavu PO následující PTCH u tuků a olejů použitých při zkouškách:

- bod vzplanutí a bod hoření [14] na přístroji TÚPO Cleveland semi automatic firmy Walter Herzog, GmbH., viz obr. č. 15,
- teplota vznícení [19] na přístroji TÚPO od firmy Clasic, viz obr. č. 16,
- spalné teplo na adiabatickém kalorimetru TÚPO, IKA-C 400,
- hustota na hustoměru TÚPO, zn. DENSITO 30P fy Mettler – Toledo [51], viz obr. č. 17,
- pH na přístroji TÚPO, pH/mV metru JENWAY, model 370 [52], viz obr. č. 18.

6.1 Stručná charakteristika zkušebních postupů

6.1.1 Stanovení bodu vzplanutí a bodu hoření podle ČSN EN ISO 2592

Bod vzplanutí (BV) je nejnižší teplota zkušební dávky (přepočtená z barometrického tlaku na standardní atmosférický tlak 101,3 kPa), při které aplikace zapalovacího zařízení za předepsaných podmínek zkoušky způsobí vzplanutí par zkušebního vzorku (plamen se krátkodobě rozšíří uvnitř kelímku) za určených podmínek zkoušky [14].

Bod hoření (BH) je nejnižší teplota zkušební dávky, přepočtená na standardní atmosférický tlak 101,3 kPa, při které aplikace zkušebního plamene způsobí, že se páry zkušební dávky zapálí a ustáleně hoří po dobu nejméně 5 s za určených podmínek zkoušky [14].

Normový postup lze užít pro hořlavé kapaliny s bodem vzplanutí v otevřeném kelímku nad 79 °C. Ke stanovení uvedených hodnot byl použit tester Cleveland semi automatic firmy Walter Herzog GmbH.

Zkušební tester sestává z mosazného zkušebního kelímku o vnitřním průměru 63 mm a výšce 32,5 mm, ocelové topné plotýnky o průměru 159 mm elektricky vyhřívané, plynového hořáku o průměru ústí 0,8 mm. Je v otočném držáku upevněn tak, že působením pohonu vykonává automatický opakovaný pohyb (tam a zpět) s poloměrem dráhy 150 mm nad středem kelímku ve vodorovném směru těsně nad jeho horní hranou, teploměru o rozsahu od $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ s dělením stupnice po $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, celkovou délkou stonku 310 mm a průměrem 7 mm, držáku teploměru, který umožňuje jeho instalaci do polohy se špičkou ve výšce 6 mm nade dnem kelímku a v polovině vzdálenosti mezi vnitřní stěnou kelímku a jeho středem, barometru s přesností 0,1 kPa, časomíry (stopky), ochranného krytu k ochraně testeru před průvanem ze tří stran (z boků a ze zadu).



Obr. č. 18 Tester ke stanovení bodu vzplanutí a bodu hoření podle Clevelanda

Postup stanovení lze charakterizovat následujícími kroky. Zkušební kelímek je naplněn zkušební dávkou testovaného oleje až po rysku (70 ml) a vložen na topnou plotýnku testeru. Teploměr se pomocí držáku ponoří do vzorku a zafixuje do předepsané polohy. Zkušební plynový hořák se připojí na PB tlakovou láhev s redukčním ventilem a po zapálení je nastavena velikost jeho plamene na průměr $(3,2 \div 4,8)$ mm. Kelímek se vzorkem je ohříván rychlostí $(14 \div 17)\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ a to až na teplotu cca $56\text{ }^{\circ}\text{C}$ pod předpokládaným BV. Následně je rychlost ohřívání snížena na $(5 \div 6)\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

Při teplotě cca $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ pod předpokládaným BV je testován parní prostor v kelímku pomocí plynového hořáku na vzplanutí a to po každém nárůstu teploty o $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ústí hořáku s plamenem vykonává kyvadlový vodorovný pohyb přes střed kelímku tak, že přejde z jednoho okraje kelímku na druhý za 1 s. První teplota, při které nastane vzplanutí je

naměřeným nekorigovaným BV_n . V průběhu měření je zaznamenáván barometrický tlak v okolí testeru, pokud je stanovován bod hoření, kelímek se vzorkem je po prvním vzplanutí dále ohříván rychlostí $(5 \div 6) ^\circ\text{C}/\text{min}$ až do první teploty vzorku, při které vzplanutí pokračuje hořením trvajícím nejméně 5 s. Tato teplota je naměřeným nekorigovaným bodem hoření (BH_n). Zkouška je opakována 2x. Nekorigované hodnoty BV_n a BH_n jsou následně přepočteny/korigovány na standardní atmosférický tlak 101,3 kPa podle rovnice:

$$BV(BH) = BV_n(BH_n) + 0,25(101,3 - p_{\text{bar}}),$$

kde p_{bar} je průměrný barometrický tlak okolí na testeru v průběhu stanovení, výsledek stanovení je uváděn spolu s rozšířenou nejistotou, odhadnutou postupem podle následující tabulky.

Tabulka č. 15 Postup odhadu nejistoty při stanovení bodů vzplanutí a hoření

Veličina	Vzorec pro výpočet
aritmetický průměr nekorigovaných výsledků stanovení: BV_{n1} , BV_{n2} nebo BH_{n1} , BH_{n2}	$BV_n = (BV_{n1} + BV_{n2})/2$ $BH_n = (BH_{n1} + BH_{n2})/2$
korigovaný výsledek: BV nebo BH	$BV = BV_n(101,3 - p_{\text{bar}})/4$ $BH = BH_n(101,3 - p_{\text{bar}})/4$
standardní nejistota stanovení typu A, u_A	$u_A = 0,8862 \cdot R/2$
standardní nejistota stanovení typu B, u_B	$u_B = u_C \text{ teploměru}$
kombinovaná nejistota, u_C	$u_C = (u_A^2 + u_B^2)^{1/2}$
rozšířená nejistota, U	$U = 2u_C$
výsledek stanovení	$BV \pm U_{BV}, BH \pm U_{BH}$

kde

$u_C \text{ teploměru}$ je určena z kalibračního listu teploměru,

R je rozpětí (rozdíl dvou hodnot naměřených za podmínek opakovatelnosti)

6.1.2 Stanovení teploty vznícení plynů a par podle ČSN EN 14522

Normový postup stanovení lze užít pro hořlavé plyny/páry ve směsi se vzduchem při barometrickém tlaku a teplotě vznícení do $650 ^\circ\text{C}$.

Teplota vznícení (T_{VZN}) je nejnižší teplota horkého povrchu, při které se za stanovených laboratorních podmínek hořlavý plyn nebo hořlavá pára ve směsi se vzduchem nebo vzduchem/inertním plynem vznítí [19].

Zkušební tester firmy Clasic sestává zejména ze zkušební nádoby, 200 ml skleněné Erlenmeyerovy baňky s úzkým hrdlem, držáku zkušební nádoby, elektrické pícky s elektrickým regulovatelným vytápěním dna, boků a odnímatelného víka a 2 ks termočlánků. První termočlánek je regulační a měří teplotu vnější stěny ve středu dna zkušební nádoby, druhý měří teplotu vnější boční stěny zkušební nádoby ve výšce 25 mm nad jejím dnem, teplotu vznícení. Příslušenství dále tvoří dávkovací zařízení (injekční stříkačky nebo dávkovací čerpadlo s dávkovacím potrubím), časomíry (stopky), přívod tlakového vzduchu k vyčistění zkušební nádoby od plyných zplodin hoření z předchozího pokusu (profukování).



Obr. č. 19 Tester ke stanovení teploty vznícení od firmy Clasic

Postup stanovení lze charakterizovat těmito kroky: elektrická pícka se připojí na 220 V/50 Hz, elektrický regulátor se nastaví na výchozí/startovací teplotu T_{st} , obvykle $(20 \div 30) ^\circ\text{C}$ nad očekávanou T_{VZN} , po ustálení teploty T_{st} je do zkušební nádoby dávkována po kapkách zkušební dávka s krokem $(25 \pm 10) \mu\text{l}$ tak, aby bylo určeno:

- a) nejmenší množství hořlavé látky (v našem případě oleje), při kterém vznícení právě nenastane a následně právě nastane,
- b) největší množství hořlavé látky, při kterém vznícení nastane a následně právě nenastane.

Zkušební nádoba je zahřátá na teplotu $(T_{st} - T_{VZN})/2$ a opakují se kroky a), b) výše uvedené. Matematicky je proložena parabola $T_{vzn} = ax^2 + bx + c$ naměřenými body vznícení při teplotách T_{st} a $(T_{st} - T_{VZN})/2$ a nejmenším a největším množstvím hořlavé látky. Z odvozené regresní rovnice je matematicky vypočtena souřadnice vrcholu paraboly, kde její souřadnice y je hledanou teplotou vznícení. Teplota vznícení se ověří dvěma pokusy, výsledek stanovení je uváděn spolu s rozšířenou nejistotou U, odhadnutou postupem podle následující tabulky.

Tabulka č. 16 Postup odhadu celkové nejistoty výsledku stanovení teploty vznícení

Veličina	Vzorec pro výpočet
$(x_1, T_{st}); (x_2, T_{st}); ((x_3, (T_{st} - T_{VZN})/2)); ((x_4, (T_{st} - T_{VZN})/2))$ $T_{VZN} = ax^2 + bx + c$	$T_{VZN} = c - b^2/4a$
standardní nejistota stanovení typu A, u_A	$u_{A,RR}$
standardní nejistota stanovení typu B, u_B	$u_B = (u_{TČ}^2 + u_{inj.s.}^2)^{1/2}$
kombinovaná nejistota, u_C	$u_C = (u_A^2 + u_B^2)^{1/2}$
rozšířená nejistota, U	$U = 2u_C$
výsledek stanovení	$T_{VZN} \pm U$

kde

u_C , $u_{TČ}$ je určena z kalibračního listu dvojice měřicího termočlánku (TČ) s milivoltmetrem, $u_{inj.s.}$ je nejistota stanovení u injekční stříkačky

$(x_1, T_s); (x_2, T_s); ((x_3, (T_s - T_{VZN})/2)); ((x_4, (T_s - T_{VZN})/2))$ jsou naměřené zkušební dávky, x_1, x_2, x_3, x_4 , při kterých nastane vznícení při teplotách T_s a $(T_s - T_{VZN})$, $T = ax^2 + bx + c$ je regresní rovnice proložená výše uvedenými body metodou nejmenších čtverců, $u_{A,RR}$ je nejistota T_{VZN} z odvozené regresivní rovnice

6.1.3 Stanovení spalného tepla hořlavých kapalin podle ČSN 656169

Normový postup stanovení lze užít pro hořlavé kapaliny: benzíny, nafty, petroleje a oleje.

Spalné teplo při konstantním objemu (Q_s) je množství tepla, které se uvolní z jednotky hmotnosti látky uvolněné jejím spalováním v kalorimetrické tlakové bombě v kyslíku za předepsaných podmínek [21].

Zkušební tester sestává zejména z adiabatického kalorimetru IKA-C 400 s příslušenstvím, kalorimetrickou celou a bombou, termočlánu s digitálním teploměrem IKA TRON, DKP 400, zapalovacího Fe drátku, polymerní kapsle, injekční stříkačky, kyslíkové tlakové láhve s redukčním ventilem, laboratorní váhy. K měření je dále třeba 0,1 M vodný odměrný roztok NaOH, kyselina benzoová (referenční látka), fenolftalein, destilovaná voda a titrační pipeta se zásobní lahví na odměrný roztok.



Obr. č. 20 Tester ke stanovení spalného tepla IKA-C 400

Postup stanovení lze charakterizovat těmito kroky: pomocí referenční látky (kyseliny benzoové), je stanovena vodní hodnota kalorimetru. Dále se stanoví hmotnost Fe zapalovacího drátku a prázdné polymerní kapsle. Polymerní kapsle se naplní olejem (cca 0,8 g) a stanoví se opět její hmotnost. Kapsle naplněná olejem je ovinuta Fe zapalovacím drátkem, vložena do kalorimetrického kelímku a s ním do držáku v horní části kalorimetrické bomby. Oba konce Fe zapalovacího drátku jsou připevněny na elektrody. Na dno kalorimetrické bomby je napipetováno 10 ml destilované vody. Následně jsou horní a dolní část kalorimetrické bomby sešroubovány. Kalorimetrická bomba je natlakována na 3 MPa kyslíku a následně vložena do kalorimetrické cely naplněné odváženým množstvím vody cca 22 °C umístěné v kalorimetru. Následně jsou ventily kalorimetrické bomby připojeny na elektrický zdroj. Vnitřní prostor kalorimetru je uzavřen víkem s termočlánkem umístěným tak, že je ponořen do vody v kalorimetrické cele.

Voda ve vodním plášti kalorimetru je pomocí regulátoru elektrického vytápění vyhřátá na 25 °C. Po ustálení teploty je vzorek v kalorimetrické bombě zapálen sepnutím elektrického zapalovacího obvodu. Následně je odečítána teplota vody v kalorimetrické cele v 15 s intervalech až do dosažení maximální teploty. Kalorimetrická bomba se vyjme z kalorimetrické cely, odtlačuje a vypláchne cca 150 ml destilované vody. Výplach je po povaření titrován odměrným roztokem NaOH na fenolftalein k určení obsahu vzniklé HNO₃. Spalné teplo Q_S se vypočte ze vzorce:

$$Q_S \text{ (kJ/kg)} = (C_K \cdot \Delta t - m_{Fe} \cdot Q_{Fe} - Q_3 \cdot V_{NaOH}) / m_o \quad (11)$$

kde C_K je tzv. vodní hodnota kalorimetru (kJ/°C),

Δt je nárůst teploty (°C) v hlavní periodě spalování,

Q_{Fe} je spalné teplo Fe drátku (kJ/kg),

m_{Fe} je hmotnost vyhořelého drátku (kg),

Q₃ je objemové teplo při vzniku vodného roztoku HNO₃ (kJ/ml),

V_{NaOH} je objem spotřebovaného odměrného roztoku NaOH titrací (ml),

m_o je hmotnost vzorku oleje (kg)

Výsledek stanovení Q_S je uváděn spolu s rozšířenou nejistotou U, odhadnutou postupem podle následující tabulky č. 17.

Tabulka č. 17 Postup odhadu celkové nejistoty výsledku stanovení spalného tepla

Veličina	Vzorec pro výpočet
standardní nejistota stanovení typu A, u _A	u _A
standardní nejistota stanovení typu B, u _B	u _B = u _{cB}
kombinovaná nejistota, u _C	$u_C = (u_A^2 + u_{cB}^2)^{1/2}$
rozšířená nejistota, U	U = 2u _C
výsledek stanovení	Q _S ± U

kde

$$u_{cB}(Q_S) = Q_S \left[\left(\frac{u(C_K)}{C_K} \right)^2 + \left(\frac{u(\Delta t)}{\Delta t} \right)^2 + \left(\frac{u(m_{Fe})}{m_{Fe}} \right)^2 + \left(\frac{u(Q_{Fe})}{Q_{Fe}} \right)^2 + \left(\frac{u(Q_3)}{Q_3} \right)^2 + \left(\frac{u(V_{NaOH})}{V_{NaOH}} \right)^2 + \left(\frac{u(m_o)}{m_o} \right)^2 \right] \quad (12)$$

6.1.4 Stanovení hustoty oleje

Zkušební postup/přístroj umožňuje měřit hustotu v rozsahu (0 ÷ 2) g/cm³ a teplotu vzorku od 5 °C do 35 °C [50].

Hustota (objemová hmotnost) je podíl hmotnosti a objemu látky (kg/m^3) [51].

Zkušební tester sestává z hustoměru DENSITO 30P fy Mettler – Toledo s digitálním displejem, vzorkovací trubice, externí injekční stříkačky, vialky se šroubovacím víčkem s IČ interface a adapteru pro přesun dat do počítače a následný tisk, tužková baterie a referenčních kapalin (standardů).



Obr. č. 21 Tester DENSITO 30 P ke stanovení hustoty

Postup měření lze charakterizovat následujícími kroky. Provede se kalibrace přístroje pomocí destilované vody nebo referenčních standardů. Přístroj se připojí na elektrický zdroj. Vzorkovací trubice připojená na tester se ponoří do testované kapaliny a provede se její nasátí pomocí vnitřní vzorkovací pumpy do měřicí cely (vzorky s viskozitou $> 2000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ jsou do měřicí cely plněny z injekční stříkačky). Poté je spuštěno měření hustoty a teploty a vyčká se do stabilizace hodnot na displeji. Měření je provedeno 2x. Výsledkem měření je aritmetický průměr. Pomocí programového vybavení testeru lze přepočítat naměřené hodnoty hustoty z naměřené teploty T na jinou, např. standardní teplotu T_0 pomocí vzorce:

$$\rho_0 = \rho_T (1 + \alpha_k / (T - T_0)) \quad (13)$$

kde T je teplota, při které byla naměřena hustota ρ_T

ρ_0 je hustota kapaliny korigovaná na teplotu T_0

α_k je teplotní kompenzační koeficient určený podle vzorce

$$\alpha_k = (\rho_0 / \rho_T - 1) / (T - T_0) \quad (14)$$

k výsledku je uváděna nejistota měření, odhadnutá postupem dle následující tabulky.

Tabulka č. 18 Postup odhadu celkové nejistoty výsledku stanovení hustoty oleje

Veličina	Vzorec pro výpočet
aritmetický průměr nekorigovaných výsledků měření: ρ_{T1}, ρ_{T2}	$\rho_{Tn} = (\rho_{T1} + \rho_{T2})/2$
atandardní nejistota stanovení typu A, u_A	$u_A = 0,8862 \cdot R/2$
standardní nejistota stanovení typu B, u_B	$u_B = (u_p^2 + u_{TC}^2)^{1/2}$
kombinovaná nejistota, u_C	$u_C = (u_A^2 + u_B^2)^{1/2}$
rozšířená nejistota, U	$U = 2u_C$
výsledek stanovení hustoty při teplotě T, ρ_T	$\rho_T = \rho_{Tn} \pm U$

kde **R** je tzv. rozpětí = rozdíl největší a nejmenší hodnoty z naměřených hodnot za podmínek opakovatelnosti

6.1.5 Stanovení pH

Zkušební postup/přístroj umožňuje měřit pH v rozsahu od - 2 do + 16 [52].

pH = - log $[H^+]$, kde $[H^+]$ je koncentrace kationtu vodíku. Je mírou kyselosti/zásaditosti kapaliny/roztoku.

Zkušební tester sestává zejména z pH/mV metru JENWAY, model 370, kombinované pH elektrody, teplotní sondy, pufrů: pH= 4, pH= 7, pH= 10 a 2 ks alkalických baterií.



Obr. č. 22 Tester JENWAY 370 ke stanovení pH

Postup měření lze charakterizovat těmito kroky. Provede se kalibrace přístroje pomocí pufrů o známém pH. Postupem dle návodu se připojí pH skleněná elektroda konektoru a teplotní sonda do konektoru na elektrický zdroj. Provede se nastavení režimu měření pH se zobrazením na digitálním displeji, pH elektroda a teplotní sonda se ponoří do nádoby se

zkoušenou kapalinou a vyčká se ustálení reálných/naměřených hodnot pH a teploty, měření je opakováno 2x. Výsledek je aritmetickým průměrem naměřených hodnot. K výsledku je uváděna nejistota měření, odhadnutá postupem dle následující tabulky č. 19.

Tabulka č. 19 Postup odhadu celkové nejistoty výsledku stanovení pH

Veličina	Vzorec pro výpočet
aritmetický průměr výsledků měření: pH_1, pH_2	$pH_n = (pH_1 + pH_2)/2$
standardní nejistota stanovení typu A, u_A	$u_A = 0,8862 \cdot R/2$
standardní nejistota stanovení typu B, u_B	$u_B = (u_{pH}^2 + u_{TC}^2)^{1/2}$
kombinovaná nejistota, u_C	$u_C = (u_A^2 + u_B^2)^{1/2}$
rozšířená nejistota, U	$U = 2u_C$
výsledek stanovení pH při teplotě T, pH	$pH = pH_n \pm U$

6.2 Výsledky stanovení PTCH

Výsledky stanovení jsou sumarizovány v tabulce č 20.

Tabulka č. 20 Vybrané PTCH olejů, které byly použity ke zkouškám hašení

Předmět zkoušky	ρ 25 °C $\pm U$ [g/cm ³]	pH $\pm U$	Bod vzplanutí $\pm U$ [°C]	Bod hoření $\pm U$ [°C]	Teplota vznícení $\pm U$ [°C]	Spalné teplo $\pm U$ [MJ/kg]
slunečnicový olej ¹ (200 l sud)	0,9188 $\pm 0,0001$	6,57 $\pm 0,05$	331 \pm 1	366 \pm 8	393 \pm 3	39,7359 $\pm 0,3498$
slunečnicový olej ¹ (1 l originálního balení)	0,9187 $\pm 0,0001$	6,55 $\pm 0,04$	339 \pm 5	364 \pm 3	389 \pm 3	39,4689 $\pm 0,3768$
slunečnicový olej ¹ (10 l lahev)	0,9155 $\pm 0,0004$	6,67 $\pm 0,04$	337 \pm 3	366 \pm 5	392 \pm 3	39,4689 $\pm 0,3768$
fritovací olej ² (3 l originálního balení)	0,9163 $\pm 0,0001$	6,63 $\pm 0,04$	334 \pm 7	360 \pm 3	386 \pm 3	39,9998 $\pm 0,4109$
přepálený olej ³ (25 l, z 02.07.09)	0,9157 $\pm 0,0001$	6,68 $\pm 0,02$	329 \pm 3	360 \pm 5	387 \pm 3	nestanoveno
přepálený olej ³ (25 l z 25.06.09)	0,9153 $\pm 0,0004$	6,72 $\pm 0,02$	333 \pm 3	360 \pm 5	388 \pm 4	nestanoveno
palmový olej rafinovaný ⁴ (10 kg originálního balení)	0,9047 $\pm 0,0004$	6,79 $\pm 0,02$	329 \pm 3	355 \pm 5	407 \pm 2	39,7367 $\pm 0,2821$
palmový olej přepálený ⁵ (sud)	0,9164 $\pm 0,0004$	6,84 $\pm 0,02$	304 \pm 3	352 \pm 5	412 \pm 2	39,3197 $\pm 0,2849$
olej řepkový ⁶ (1 l originálního obal)	0,9136 $\pm 0,0004$	6,74 $\pm 0,02$	329 \pm 6	360 \pm 5	409 \pm 3	38,5252 $\pm 0,4039$

Vysvětlivky:

- 1... slunečnicový olej (výrobce Oleofin, a.s., Praha)
- 2... fritovací olej (výrobce Oleofin, a.s., Praha)
- 3... přepálený olej (závodní kuchyně v Kongresové ul.)
- 4... palmový olej rafinovaný originální balení (10 kg plastový obal)
- 5... palmový olej přepálený (vyřazený z dalšího používání v Michelské pekárně)
- 6... řepkový olej z obchodní sítě

U přepálených olejů (neznámého původu a počtu fritování), které byly použity ke zkouškám, byla jejich hustota v průměru o $0,002 \text{ g/cm}^3$ nižší a pH o 0,1 vyšší než u čerstvých, nepoužitých olejů (slunečnicového a fritovacího). Jejich bod vzplanutí a bod hoření byly v průměru o $4 \text{ }^\circ\text{C}$ nižší a teplota vznícení o $3 \text{ }^\circ\text{C}$ nižší než u dosud nepoužitých olejů (slunečnicového a fritovacího).

7. Průběh zkoušek a výsledky ověření hasební schopnosti vybraných hasiv

7.1 Podmínky průběhu zkoušek

Zkoušky byly prováděny za různých podmínek v průběhu několika měsíců, proto bylo nutno posoudit také vliv změněných podmínek na průběh hašení a hasicí účinnost.

Teplota ve zkušební hale se v průběhu zkoušek pohybovala v rozmezí $(15 \div 20) ^\circ\text{C}$ a relativní vlhkost vzduchu v rozmezí $(24 \div 61) \%$ obj. Maximální rozdíl v barometrickém tlaku mezi jednotlivými zkouškami byl 2,1 kPa. Rychlost proudění vzduchu v okolí zkušebního objektu při zapnutém jednom odtahovém ventilátoru se pohybovala v rozmezí $(0,07 \div 0,56) \text{ m/s}$. Tyto hodnoty byly plně v souladu s požadavky ČSN EN 3-7+A1 a nepodstatná změna jejich hodnot v průběhu zkoušek neměla vliv na jejich průběh.

Účelem dalších měření bylo zjistit teplotu oleje, při které nastane vznícení a jeho maximální teplotu na počátku hašení. Dále pak byly měřeny hodnoty okolní teploty a hustoty toku tepla, rychlosti proudění vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu v přesně definovaných pozicích v blízkosti zkušebního objektu za účelem posouzení podmínek prováděných zkoušek v návaznosti na provedení případného skutečného požárního zásahu.

Skutečné teploty vznícení slunečnicového oleje použitého ke zkouškám byly v jednotlivých případech od laboratorně stanovené teploty $393 ^\circ\text{C}$ o $(13 \div 39) ^\circ\text{C}$ nižší. Nejnižší teploty vznícení byly naměřeny u zkušebního objektu 5F.

V rámci zkoušek byla také sledována maximální teplota oleje před zahájením hašení. Vzhledem ke stanovenému limitu zahájení hašení při zkouškách po 2 minutách od vznícení oleje, který je dán ČSN EN 3-7+A1, činilo zvýšení teploty po vznícení oleje v průměru pouze kolem $10 ^\circ\text{C}$.

Nejkratší doby ohřevu oleje do vznícení byly naměřeny u zkušebního objektu 5F 29 minut a 65 minut. U zkušebního objektu 25F se u jednotlivých zkoušek pohyboval čas ohřevu do vznícení v rozsahu $(65 \div 193)$ minut. U zkoušky č. 3 nebyla dodržena normou stanovená doba ohřevu 3,5 hodiny (210 minut). Ani po 354 minutách teplota oleje při této zkoušce nedosáhla teploty vznícení.

Tabulka č. 21 Podmínky zkoušek hašení vybranými hasivy

Číslo zkoušky	Měřená veličina	Teplota okolí [°C]	Barometrický tlak [kPa]	Relativní vlhkost vzduchu [%]	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Teplota oleje		Hustota toku tepla		
						při vznícení [°C]	před hašením [°C]	při vznícení [kW/m ²]	před hašením [kW/m ²]	max. naměřená [kW/m ²]
1.	výsledek	21,0	99,3	49	0,07 ÷ 0,51	360,40	376,90	0,45	0,73	0,79
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	29:00	31:00	29:00	31:10	31:15
2.	výsledek	17,0	99,6	43	0,06 ÷ 0,52	354,20	373,80	1,06	1,40	1,44
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	76:00	78:00	76:00	78:00	78:15
3.	výsledek	17,0	99,1	61	0,06 ÷ 0,50	ne	ne	ne	ne	0,92
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	-	-	-	-	280:00
4.	výsledek	19,0	98,3	31	0,06 ÷ 0,56	367,70	379,80	0,58	8,51	9,22
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	127:00	129:00	127:00	129:00	129:15
5.	výsledek	18,0	98,5	41	0,07 ÷ 0,49	361,90	370,00	0,51	7,08	8,32
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	127:00	129:00	127:00	129:00	129:10
6.	výsledek	15,3	98,0	32	0,10 ÷ 0,36	365,50	374,80	-	-	-
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	174:48	176:48	-	-	-
7.	výsledek	17,0	98,2	35	0,10 ÷ 0,36	374,20	381,10	-	-	-
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	117:15	119:15	-	-	-
8.	výsledek	18,6	98,2	27	0,10 ÷ 0,36	367,80	376,30	-	-	-
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	163:52	165:52	-	-	-
9.	výsledek	16,9	98,7	24	0,10 ÷ 0,36	371,80	398,00	-	-	-
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	65:09	67:09	-	-	-
10.	výsledek	20,4	98,7	24	0,10 ÷ 0,36	366,80	393,10	-	-	-
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	65:58	66:00	-	-	-
11.	výsledek	20,0	98,6	24	0,10 ÷ 0,36	368,50	386,30	-	-	-
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	193:13	195:13	-	-	-

Číslo zkoušky	Měřená veličina	Teplota okolí [°C]	Barometrický tlak [kPa]	Relativní vlhkost vzduchu [%]	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Teplota oleje		Hustota toku tepla		
						při vznícení [°C]	před hašením [°C]	při vznícení [kW/m²]	před hašením [kW/m²]	max. naměřená [kW/m²]
12.	výsledek	16,5	99,6	24	0,10 ÷ 0,36	368,80	379,10	-	-	-
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	168:42	170:42	-	-	-
13.	výsledek	19,3	98,4	28	0,10 ÷ 0,36	368,10	377,20	-	-	-
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	213:18	215:18	-	-	-
14.	výsledek	13,8	98,8	36	0,10 ÷ 0,36	363,20	373,00	-	-	-
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	144:07	146:07	-	-	-
15.	výsledek	15,4	98,6	36	0,10 ÷ 0,36	367,70	372,50	-	-	-
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	157:27	159:27	-	-	-
16.	výsledek	15,6	98,4	52	0,10 ÷ 0,36	366,00	375,60	-	-	-
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	134:38	136:38	-	-	-
17.	výsledek	16,7	98,1	76	0,10 ÷ 0,36	368,80	379,40	-	-	-
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	140:39	142:39	-	-	-
18a.	výsledek	20,1	98,2	86	0,10 ÷ 0,36	378,00	391,50	-	-	-
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	71:24	73:24	-	-	-
18b.	výsledek	20,1	98,2	86	0,10 ÷ 0,36	378,00	391,50	-	-	-
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	71:24	73:24	-	-	-
19.	výsledek	18,6	98,9	76	0,10 ÷ 0,36	360,00	369,80	-	-	-
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	113:27	115:27	-	-	-
20.	výsledek	18,5	99,0	83	0,10 ÷ 0,36	361,70	372,50	-	-	-
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	114:14	116:14	-	-	-
21.	výsledek	19,3	98,9	83	0,10 ÷ 0,36	367,80	376,80	-	-	-
	čas [min:s]	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	v průběhu zkoušky	144:46	146:46	-	-	-

7.2 Výsledky ověření hasební schopnosti vybraných hasiv

Podle požadavků ČSN EN 3-7+A1 byla v rámci zkoušek posuzována výška plamenů při hašení a možnost vzkypění nebo výstřiku oleje v průběhu hašení. Dále podle přijatého zaměření zkoušek byla měřena doba uhašení a vážením vyhodnocena minimální množství hasiva potřebného k uhašení u zkušebních objektů 5F a 25F. Na základě výsledku měření jsem pak posuzoval hasební schopnost vybraných hasiv a zkoušené způsoby jejich aplikace.

Celkově bylo provedeno 21 srovnávacích zkoušek, jejichž výsledek je shrnut v tabulce č. 22. Provedené zkoušky ukázaly, že k hašení třídy požáru F lze bezpečně použít pouze hasiva schválená pro hašení jedlých tuků a olejů za následujících podmínek:

Hasivo musí být podáváno pouze ve formě jemné vodní mlhy tak, aby nedošlo při jeho aplikaci k rozčeření hladiny oleje. Použití kompaktního proudu je nebezpečné. Hasivo má být aplikováno v koncentraci stanovené výrobcem. Při plnění hasicích přístrojů musí být přísně dodržen postup daný výrobcem. Jejich ředění nebo míšení je nebezpečné. Hasivo je vhodné aplikovat s určitým přebytkem, neboť vlivem varu olejové lázně a vysoké teploty může dojít k narušení vytvořené tenké izolující vrstvy na hladině oleje a jeho opětovnému vznícení. V rámci provedených zkoušek vyhovělo požadavkům ČSN EN 3-7+A1 pouze hasivo Neufrol M – meterin dodávané FLN Neuruppin s nejnižší průměrnou spotřebou 2,5 kg pro zkušební objekt 25F (viz zkoušky č. 4 a 5), a Fettex od firmy Sthamer, SRN s průměrnou spotřebou 2,78 kg na tentýž objekt (viz zkoušky č. 6 a 8).

Dalším hasivem, které bylo deklarováno v dostupných prospektech pro hašení třídy požáru F, bylo hasivo Fire Ade AFFF, které při aplikaci ve formě vodní mlhy prokázalo hasební schopnost, ale nevyhovělo požadavkům ČSN EN 3-7+A1 na výšku plamenů, které vysoko přesahovaly stanovený limit 2 m v důsledku nadměrného vývinu hořlavých plynů a par olejové lázně při hašení. Pěnotvorné hasební látky typu AFFF, dříve označované jako vyhovující pro hašení jedlých tuků a olejů, nelze z bezpečnostního hlediska doporučit.

Zkoušky rovněž prokázaly nevhodnost a nebezpečnost použití hasicích přístrojů CO₂ a práškových hasicích přístrojů, které se dle ČSN EN 3-7+A1 nesmějí používat k hašení požárů třídy F.

Tabulka č. 22 Vyhodnocení zkoušek hasiv pro třídu požáru F

Číslo zkoušky	Zkušební objekt [26]	Množství oleje [l]	Hasivo	Celková doba do uhašení [s]	Počet opětných vzplanutí	Spotřeba hasiva [kg]	Způsob hašení	Výška plamenů [m]	Výstřik oleje ze zkušební nádoby	Poznámka	Hasební schopnost ANO / NE
1	5F	5	Neufrol M	2	-	1,8	T 9 PMDS	1,5	NE	-	ANO
2	5F	5	Neufrol M	8	1	0,8	T 2 PMDS	0,8	NE	-	ANO
3	25F	25	-	nebylo dosaženo teploty vznícení	-	-	-	-	-	zkouška byla přerušena	-
4	25F	25	Neufrol M	21	2	3,2	T 9 PMDS	3,5 (0,5 s)	NE	-	ANO
5	25F	25	Neufrol M	14	1	1,8	T 9 PMDS	3,5 (0,5 s)	NE	-	ANO
6	25F	25	Fettex	15	1	3,0	T 9 PMDS	2,5 (0,5 s)	NE	-	ANO
7	25F	25	Neufrol M 8 l + 1 l H ₂ O	42	2	6,8	T 9 PMDS	6,0 DEFLAGRACE	NE	vypadla mlhová tryska	NE
8	25F	25	Fettex	17	1	2,6	T 9 PMDS	1,8 (0,5 s)	NE	-	ANO
9	25F	10	Fire Ade AFFF 6 %	17	-	5,3	T 9 PMDS	4,0	NE	-	NE
10	25F	10	Fire Ade AFFF 3 %	17	1	2,3	T 9 PMDS	4,5	NE	-	NE
11	25F	25	Fire Ade AFFF 6%	21	-	6,9	T 9 PMDS	7,0 DEFLAGRACE	ANO	bez mlhové trysky	NE
12	25F	25	Fire Ade AFFF 3%	18	2	6,3	T 9 PMDS	6,5 DEFLAGRACE	ANO	bez mlhové trysky	NE
13	25F	25	Neufrol M	40	2	2,6	T 9 PMDS	1,5	NE	hašení z kratší strany	ANO

Číslo zkoušky	Zkušební objekt [26]	Množství oleje [l]	Hasivo	Celková doba do uhašení [s]	Počet opětných vzplanutí	Spotřeba hasiva [kg]	Způsob hašení	Výška plamenů [m]	Výstřik oleje ze zkušební nádoby	Poznámka	Hasební schopnost ANO / NE
14	25F	25	Neufrol M	5	-	7,2	T 9 PMDS bez trysky ručně	4,0	ANO	hašení z kratší strany	NE
15	25F	25	Neufrol M	24	1	2,9	T 9 PMDS ručně	0,8	NE	hašení z delší strany	ANO
16	25F	25	Neufol M	neuhašeno	1	9,7	S 9 PMDS Tandem (sprinkler)	2,5 (0,5 s)	NE	opětné vzplanutí po 195 s	NE
17	25F	25	Neufol M	1	-	1,2	T 9 PMDS	1	NE	zvýšené proudění vzduchu 2 m/s	ANO
18a	25F	10	CO ₂	neuhašeno	4	6,0	CO ₂ HP S 6 Kodreta	1,5	NE	-	NE
18b*	25F	10	ABC Pulvex Standard	4	-	3,1	HP 6 PKT 06.08 ABC prášek	0,5	ANO	-	NE
19	25F	25	Fire Ade AFFF 6%	7	-	8,2	T 9 PMDS	3,5	ANO	-	NE
20	25F	25	Neufrol M	1	-	2,0	T 9 PMDS	1,8	NE	-	ANO
21	25F	25	Neufol M	1	-	1,8	T 9 PMDS	2,0 (0,5 s)	NE	-	ANO

Poznámka:

- u zkoušek č. 1 – 19 byl použit slunečnicový nefiltrovaný olej firmy Oleofin, a.s.,
- u zkoušky č. 20 byl použit tentýž olej po opětném ohřevu,
- u zkoušky č. 21 byla použita směs přepálených fritovacích olejů,
- * zkouška č.18b navazovala na zkoušku s náplní oleje č. 18a.

Mimo rámec normy ČSN EN 3-7+A1 bylo pro názornost demonstrováno hašení hasicím přístrojem CO₂ typ S 6 Kodreta s náplní 6 kg CO₂ a práškovým hasicím přístrojem 6 PKT 06.08, výrobce Kovoslužba Praha s obsahem 6 kg prášku ABC Pulvex Standard. Citovaná norma použití hasicích přístrojů CO₂ a práškových hasicích přístrojů pro hašení požárů třídy F výslovně zakazuje s tím, že jejich použití se považuje za nevhodné a nebezpečné, což se v průběhu experimentu rovněž prokázalo.



Obr. č. 23 Reakce hasiva Fire Ade AFFF 3% po kontaktu s horkým olejem

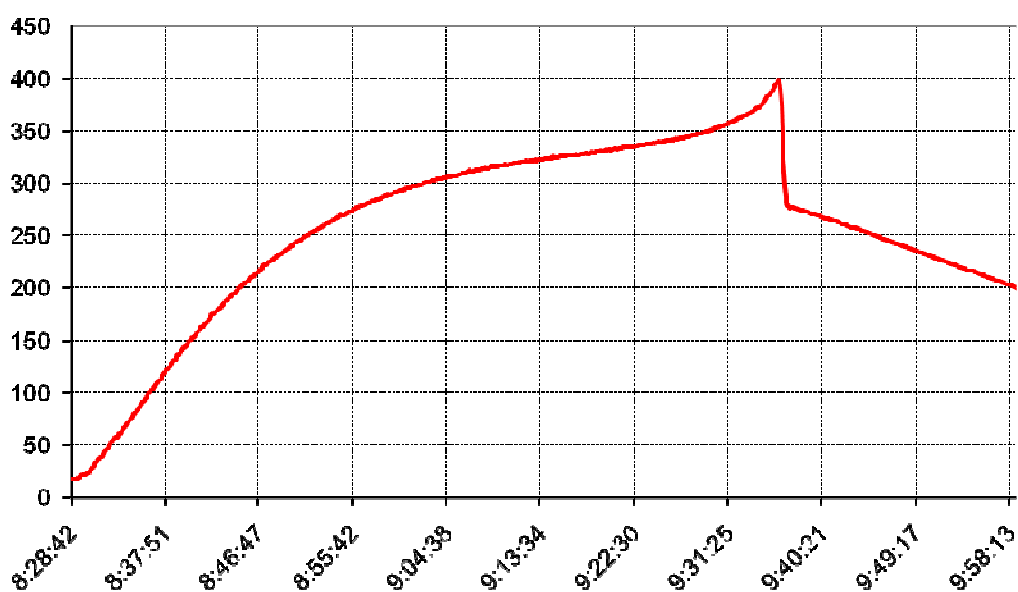
V průběhu zkoušek byly pomocí termočlánků v olejové lázni, propojenými s registračním zařízením, zaznamenávány teploty oleje u zkušebních objektů 25F. Teploty oleje byly registrovány od počátku ohřevu, až do jejich poklesu při hašení a postupném chladnutí oleje do teplot kolem 150 °C a jsou součástí protokolů o měřeních prováděných během zkoušek hašení jedlých tuků a olejů.

Při porovnání grafů o průběhu teplot v průběhu hašení je vidět patrný rozdíl při aplikaci hasiv Fire Ade AFFF, u kterých se projevoval především ochlazovací účinek a hasiv Neufrol M a Fettex, kterými bylo dosaženo přerušení hoření na principu izolace, vytvořením tuhé krusty na povrchu oleje v důsledku saponifikace. Tyto účinky jsou zřejmé z následujících grafů zobrazených na obrázcích č. 24 až č. 27.

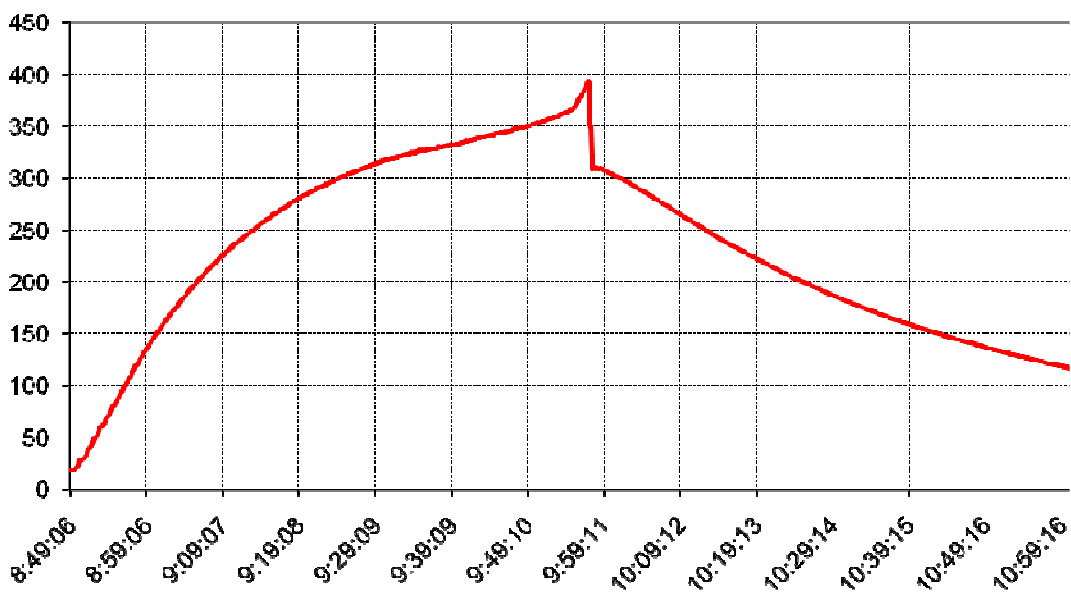
Na obrázku č. 24 je v grafu zaznamenán průběh teplot oleje při hašení hasivem Fire Ade AFFF 6% při zkoušce č. 9 provedené v TÚPO dne 12. 6. 2009 a na obrázku č. 25 jsou v grafu zachyceny teploty v průběhu hašení hasivem Fire Ade AFFF 3% při zkoušce č. 10 ze dne

15. 6. 2009. Z těchto grafů je patrné, že při aplikaci těchto hasiv dochází k rychlému poklesu teploty oleje ve zkušební nádobě o $(80 \div 120) ^\circ\text{C}$, což zřetelně signalizuje jejich ochlazovací účinek.

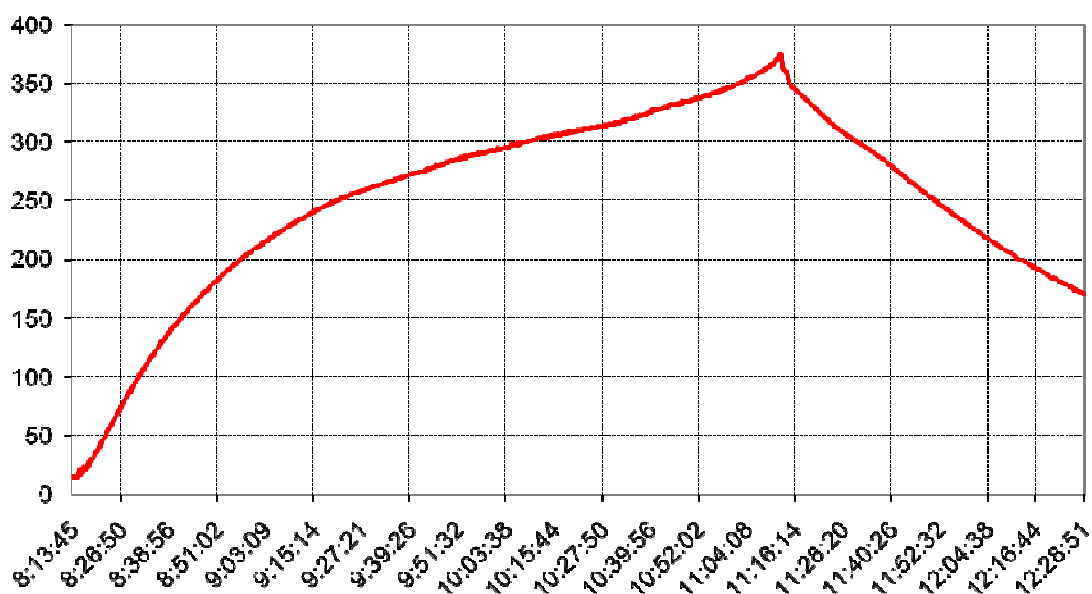
Naopak při aplikaci hasiv Neufrol M a Fettex je pokles teplot oleje ve zkušební nádobě poměrně pomalý, v důsledku zakrytí jeho povrchu izolační krustou, viz obrázek č. 26 s grafem teplot oleje v průběhu hašení hasivem Fettex při zkoušce č. 6 dne 5. 6. 2009 a obrázek č. 27, na kterém je uveden graf teplot oleje v průběhu hašení hasivem Neufrol M při zkoušce č. 15 dne 23. 6. 2009.



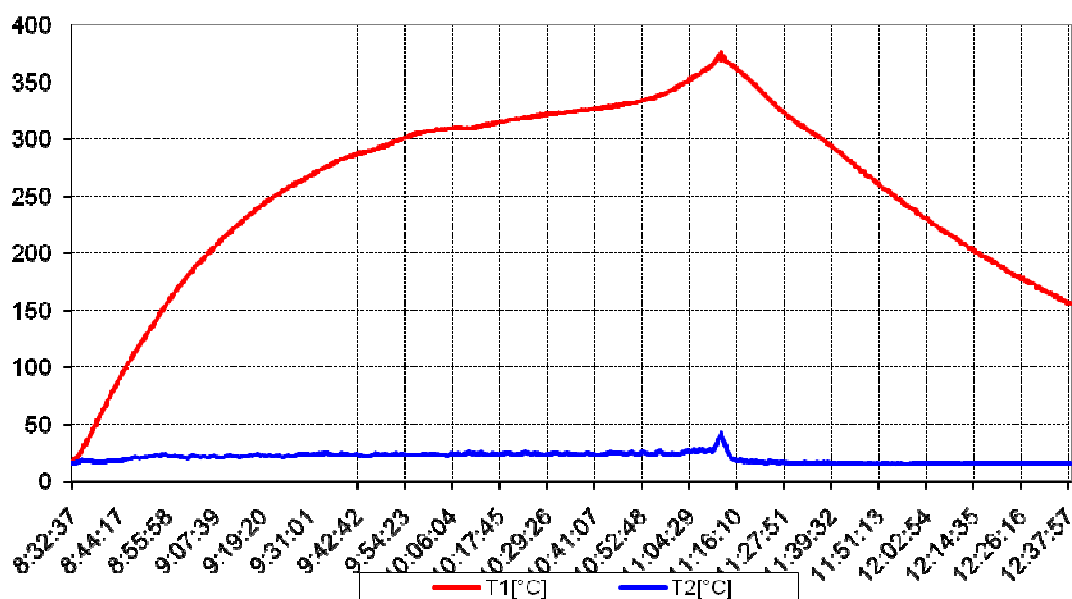
Obr. č. 24 Teploty oleje v průběhu hašení hasivem Fire Ade AFFF 6 %



Obr. č. 25 Teploty oleje v průběhu hašení hasivem Fire Ade AFFF 3 %



Obr. č. 26 Teploty oleje v průběhu hašení hasivem Fettex



Obr. č. 27 Teploty oleje v průběhu hašení hasivem Neufrol M

Vysvětlivky: T1 °C jsou hodnoty teplot oleje měřené termočlánkem T1 v olejové lázni, T2 °C jsou hodnoty teplot měřené termočlánkem T2 v pozici původního umístění mlhové trysky hasicího přístroje T 9 PMDS ve výšce 1m nad zkušební vanou a vzdálenosti 1m od jejího středu při předchozích zkouškách. U této zkoušky bylo hašení prováděno ručně zasahující osobou.

7.3 Zkoušky použití vysokotlaké vodní mlhy

Zkoušky byly prováděny za účelem ověření možnosti likvidace požáru jedlých tuků a olejů jednotkami hasičského záchranného sboru pomocí vybavení na cisternových automobilových stříkačkách. Ke zkouškám byla vybrána vysokotlaká mlhová proudnice firmy AWG, typ HDP1, průměr 25 mm na vysokotlaké hadici z CAS.

Zkoušky proběhly na zkušebním objektu 25F s přepáleným palmovým olejem. První zkouška hašení probíhala s tlakem vody na čerpadle CAS 10 bar, druhá zkouška s tlakem 40 bar.

Podmínky zkoušek ze dne 13. 4. 2010 byly následující:

teplota okolí, $t_{\text{okolí}}$ (°C)	14
barometrický tlak, p_{bar} (kPa)	98,7
relativní vlhkost vzduchu, Φ %	29
rychlost proudění, (m/s)	$0,07 \div 0,56$

Zkušební objekt byl ohříván propan-butanovým hořákem: H60, 4,4 kg/h ve venkovním prostoru. Způsob uspořádání zkušebního zařízení je patrný z následujícího obrázku č. 28.



Obr. č. 28 Hasební zásah vysokotlakou mlhovou proudnicí z CAS

Výsledky zkoušek hašení jsou uvedeny v tabulce č 23.

Tabulka č. 23 Výsledky zkoušek hašení vysokotlakou mlhou z CAS

Měřená veličina		Výsledek měření: 1. zkouška 2. zkouška	Čas [min:s]
teplota oleje [°C] při vznícení		364,0 ± 0,5 347,0 ± 0,5	126:00 123:00
teplota oleje [°C] při zahájení hašení, $t_{\text{haš}}$		391,5 ± 0,5 379,5 ± 0,5	128:05 125:05
doba prvního uhašení [s]		ne*) 13	- 125:18
čas opětovného vznícení po předchozím uhašení	1.	ne **)	- 125:26
	2.	- -	- -
	3.	- -	- -
výška plamenů > 2 m		ano ano	- -
výstřik oleje při hašení		ne ne	- -
celková doba hašení [s]		neuhašeno 13 ± 0,2	- -
spotřeba hasiva [l]		ne 43,3	- -

Vysvětlivky:

*) - Při první zkoušce s tlakem 10 bar se nepodařilo oheň uhasit. Tlak byl následně postupně zvýšen na 20 bar a na 30 bar. Při zvýšení tlaku na 30 bar byl po 20 s oheň uhašen,

**) - Při druhé zkoušce za 8 s po uhašení nastalo opětovné vznícení, hoření ponecháno 31 s, uhašeno za 18 s, za dalších 9 s opětovné vznícení, hoření ponecháno 19 s. následně uhašeno za 7 s, za dalších 16 s opětovné vznícení, hoření ponecháno 24 s, uhašeno za 4 s.

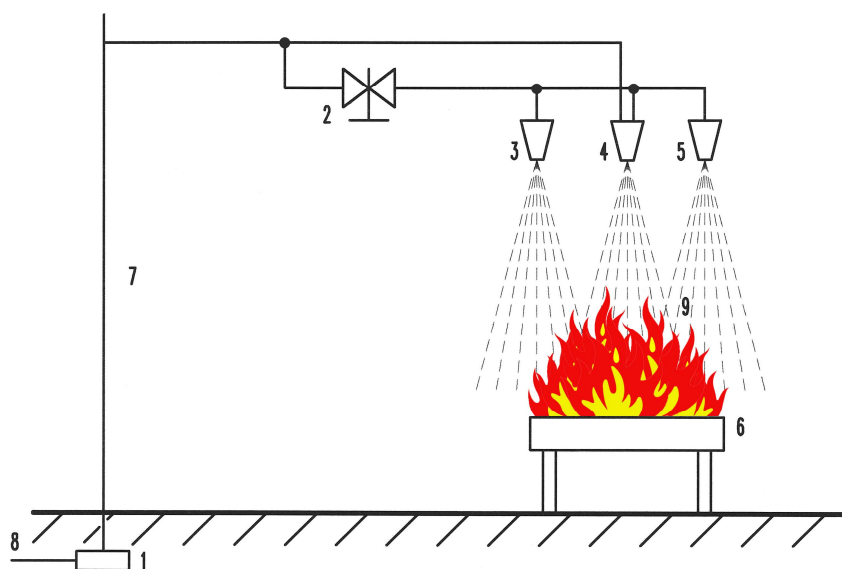
Teplota vznícení přepáleného palmového oleje byla za podmínek zkoušky o 43 °C nižší, než je jeho teplota vznícení podle normové zkoušky.

Z průběhu zkoušek vyplývá, že hasební zásah pomocí vysokotlaké mlhové proudnice firmy AWG, typu HDP1, průměr 25 mm na vysokotlaké hadici z CAS je účinný při tlaku na proudnici nad 40 barů.

7.4 Zkoušky aplikace SHZ na hašení fritéz vysokotlakou vodní mlhou

Vzhledem k tomu, že v celé řadě zemí je pro fritézy o objemu nad 50 l oleje předepsána instalace stabilního hasicího zařízení, ověřoval jsem, zda taková zařízení jsou instalována i v České republice a v jakém provedení. Výsledek byl negativní. Při oslovení výrobců a dodavatelů SHZ v Čechách, zda jsou schopni instalovat taková zařízení, jsem souhlasnou odpověď obdržel pouze od firmy Tyco Fire & Integrated Solutions s.r.o., Praha, která je členem koncernu TYCO.

Zkušební aplikace SHZ pro zkušební objekt 25F byla instalována v TÚPO podle návrhu a pokynů uvedené firmy. Zkušební objekt 25F byl ohříván propan-butanovým hořákem H60 s výkonem 4,4 kg/h ve zkušební hale TÚPO. Trysky DFF fy Tyco Fire & Integrated Solutions s.r.o. s tlakem vody 100 bar generující vodní kapky v rozpětí $(50 \div 100) \mu\text{m}$ byly instalovány na nosné liště Sikla. Tlak byl zajištěn pomocí vysokotlakého čističe WAP S 1200 od firmy Kovofiniš napojeného na vodovodní řad TÚPO podle schéma uvedeného na obrázku č. 29. Při činnosti všech 3 ks trysek byla spotřeba vody 12,7 l/min, prostřední tryska spotřebuje 3,3 l/min. SHZ po spuštění hasilo první minutu všemi 3 tryskami. Na konci 1. min byl uzavřen ventil 2 a hašení pokračovala od 2. do konce 5. min pouze prostřední tryskou. Na konci 5. min byla dodávka vody do SHZ zastavena.

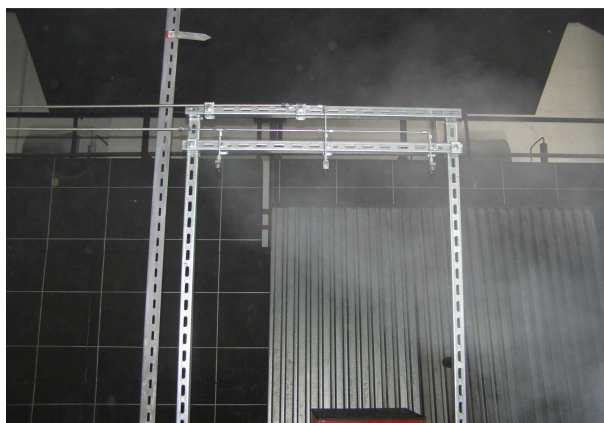


Obr. č. 29 Schéma uspořádání zkušebního objektu se SHZ

Legenda: 1 WAP S 1200; 2 Ventil; 3, 4, 5 mlhové trysky DFF; 6 zkušební objekt 25F; 7 potrubní rozvod vody; 8 vodovodní přípojka; 9 plamen hořícího oleje



a) Zahřívání zkušebního objektu 25F



b) Detail upevnění trysek SHZ



c) Pohled na hořící olej ve zkušební nádobě



d) Pohled na hořící olej po 3 s hašení SHZ

Obr. č. 30 Sestava zkušebního SHZ na vysokotlakou vodní mlhu ve zkušební hale

Podmínky zkoušek, které proběhly dne 21. 4. 2010, byly následující:

teplota okolí $t_{\text{okolí}}$, (°C)	15
barometrický tlak p_{bar} , (kPa)	98,5
relativní vlhkost vzduchu Φ , (%)	41
rychlost proudění, (m/s)	0,07 ÷ 0,56

Výsledky průběhu zkoušky hašení jsou uvedeny v tabulce 24.

Tabulka č. 24 Výsledky zkoušky hašení SHZ na vysokotlakou vodní mlhu

Měřená veličina	Výsledek měření	Čas [min:s]
teplota oleje při vznícení [°C]	339,0 ± 0,8	158:00
teplota oleje při zahájení hašení, $t_{\text{haš}}$ [°C]	342,8 ± 0,8	160:00
doba prvního uhašení [s]	34	160:34
čas opětovného vznícení po předchozím uhašení	ne	-
výška plamenů > 2 m	ano	-
výstřik oleje z nádoby při hašení	ano	-
celková doba hašení [s]	300	-
spotřeba hasiva [l]	25,9	-

Skutečná teplota vznícení přepáleného palmového oleje byla za podmínek zkoušky o 8 °C nižší, než je jeho teplota vznícení podle normové zkoušky. SHZ na vysokotlakou vodní mlhu požár uhasí, ale první prudká reakce horkého oleje s vodním kuželem představuje riziko rozšíření požáru.

7.5 Zkouška aplikace SHZ na hašení fritéz vodným roztokem potaše

Vzhledem k nevyhovujícímu výsledku uplatnění SHZ s vysokotlakou vodní mlhou se nabízela možnost uplatnění tohoto způsobu hašení s osvědčenými roztoky používanými v přenosných hasicích přístrojích, které mají schopnost saponifikace v povrchové vrstvě hořícího oleje. Jako nejdostupnější prostředek se jevil roztok potaše používaný u vodních hasicích přístrojů jako mrazuvzdorná přísada. Uspořádání zkušebního zařízení a způsob hašení zůstaly stejné jako u předchozí zkoušky. Na rozdíl od této zkoušky však nebyla hasicím médiem voda, ale vodný roztok potaše podle vlastní receptury, jehož koncentrace byla stanovena v TÚPO experimentálně ($\rho_{25\text{ °C}} = 1,417\text{ g/cm}^3$, 600 g/l). Roztok byl čerpán WAP S 1200 z 200 l sudu pod tlakem 100 bar potrubním rozvodem k tryskám SHZ, viz obr. č. 29. Zkušební objekt 25F byl naplněn 25 l palmového, přepáleného oleje. Podmínky zkoušek ze dne 29. 4. 2010 byly následující:

teplota okolí $t_{\text{okolí}}$, (°C)	19
barometrický tlak p_{bar} , (kPa)	99,3
relativní vlhkost vzduchu Φ , (%)	40
rychlost proudění, (m/s)	0,07 ÷ 0,56



Obr. č. 31 Krusta vytvořená na povrchu hořícího oleje účinkem roztoku potaše

Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce č. 25.

Tabulka č. 25 Výsledky zkoušky hašení SHZ s vodným roztokem potaše

Měřená veličina	Výsledek měření	Čas [min:s]
teplota oleje při vznícení [°C]	$337,6 \pm 0,8$	148:00
teplota oleje při zahájení hašení, $t_{\text{haš}}$ [°C]	$341,4 \pm 0,8$	150:00
doba prvního uhašení [s]	6	150:06
čas opětovného vznícení po předchozím uhašení	ne	-
výška plamenů > 2 m	ano	-
výstřik oleje z nádoby při hašení	ne	-
celková doba hašení [s]	6	-
spotřeba hasiva [l]	1,27	-

Teplota vznícení přepáleného palmového oleje byla za podmínek zkoušky o 69,4 °C nižší, než je jeho teplota vznícení podle normové zkoušky.

SHZ s roztokem potaše požár efektivně a bezpečně uhasí v porovnání s vysokotlakou mlhou z čisté vody. Problémem však při praktickém uplatnění může být silné korozivní působení příliš koncentrovaného roztoku potaše.

7.6 Zkouška hašení pomocí hasicí přikrývky (roušky)

Zkoušky hašení pomocí hasicí přikrývky (roušky) byly provedeny podle ČSN EN 1869:1998 Hasicí roušky [44]. Zkušební objekt tvořila nádoba o vnitřním průměru 345 mm a výšce stěny 100 mm s 3 l jedlého řepkového oleje Brölio na stojanu umístěném ve zkušební hale TÚPO na stole o výšce 0,8 m, viz obr. č. 32. Zkoušky se prováděly ve vnitřním prostoru bez průvanu, s odvodem spalin. Olej se zahříval kahanem na propan-butan, typ H60, 4,4 kg/h rychlostí cca 10 °C/min až do vznícení. Po vznícení se hořák odpojil a olej se nechal volně odhořívat 2 min. Hasební zásah spočívá v položení rozprostřené hasební roušky přes nádobu. Po 17 min se rouška sejmula ke zjištění, zda hoření oleje nepokračuje a zda do 3 min nenastane opětovné vznícení oleje.

Vzhledem k tomu, že se na domácím trhu nepodařilo sehnat hasební roušku odpovídající požadavkům výše uvedené normy, byla použita nestandardní hasební rouška s rozměry (1600 x 2000) mm o hmotnosti 2,5 kg, výrobce Ekounit, s.r.o. Trnava.



Obr. č. 32 Zkušební nádoba před a po pokrytí hořícího oleje hasicí rouškou

Podmínky zkoušek ze dne 12. 8. 2010 (1. zkouška) a 13. 8. 2010 (2. zkouška) byly následující:

datum zkoušky:	12. 8. 2010	13. 8. 2010
teplota okolí $t_{\text{okolí}}$, (°C)	23	20
barometrický tlak p_{bar} , (kPa)	98,6	98,8
relativní vlhkost vzduchu Φ , (%)	51	67
rychlost proudění, (m/s)	0,07 ÷ 0,56	0,07 ÷ 0,56

Tabulka č. 26 Výsledky zkoušky hašení hasicí rouškou

Měřená veličina	Výsledek měření: 1. zkouška 2. zkouška	Čas [min:s]
teplota oleje při vznícení [°C]	360,0 ± 2,5 364,0 ± 2,5	35:05 31:30
teplota oleje při zahájení hašení, $t_{\text{haš}}$ [°C]	nesledována nesledována	37:05 33:30
doba prvního uhašení [min]	17 17	54:05 50:30
čas opětovného vznícení po předchozím uhašení	ne ne	ne ne
výstřik oleje z nádoby při hašení	ne ne	ne ne

Při obou zkouškách byl hasební zásah hasicí rouškou úspěšný. Úspěšnost zásahu je však závislá na volném povrchu stolu v okolí fritézy nebo smažicí pánve, aby na něm rouška mohla přilehnout a tím přispět k izolaci přívodu vzduchu. Navíc se ověření vztahuje pouze na malé vnitřní průměry smažících nádob do 350 mm. Ze zkoušek prováděných v zahraničí [25] vyplynulo, že u fritéz větších rozměrů je tento způsob hašení nevyhovující.

8. Zkušební ověření

8.1 Chemická analýza látek vznikajících při hašení

V průběhu zkoušek byly ve zkušební hale TÚPO odebírány pro účely následné chemické analýzy v laboratoři vzorky jednotlivých hasiv z jejich originálního balení k ověření chemického složení, vzorky krust z povrchu hladiny oleje ve zkušebních objektech 5F a 25F po ukončení zkoušky hašení ke zjištění jejich látkové podstaty, vzorky prachových usazenin po zkouškách hašení z povrchových ploch předmětů v okolí zkušebních objektů ke zjištění jejich chemického složení a plynných zplodin hoření/hašení v blízkosti zkušebních objektů 5F a 25F při zkouškách hašení hasiv Neufrol M, Fettex a Fire Ade 3 % a 6 %.

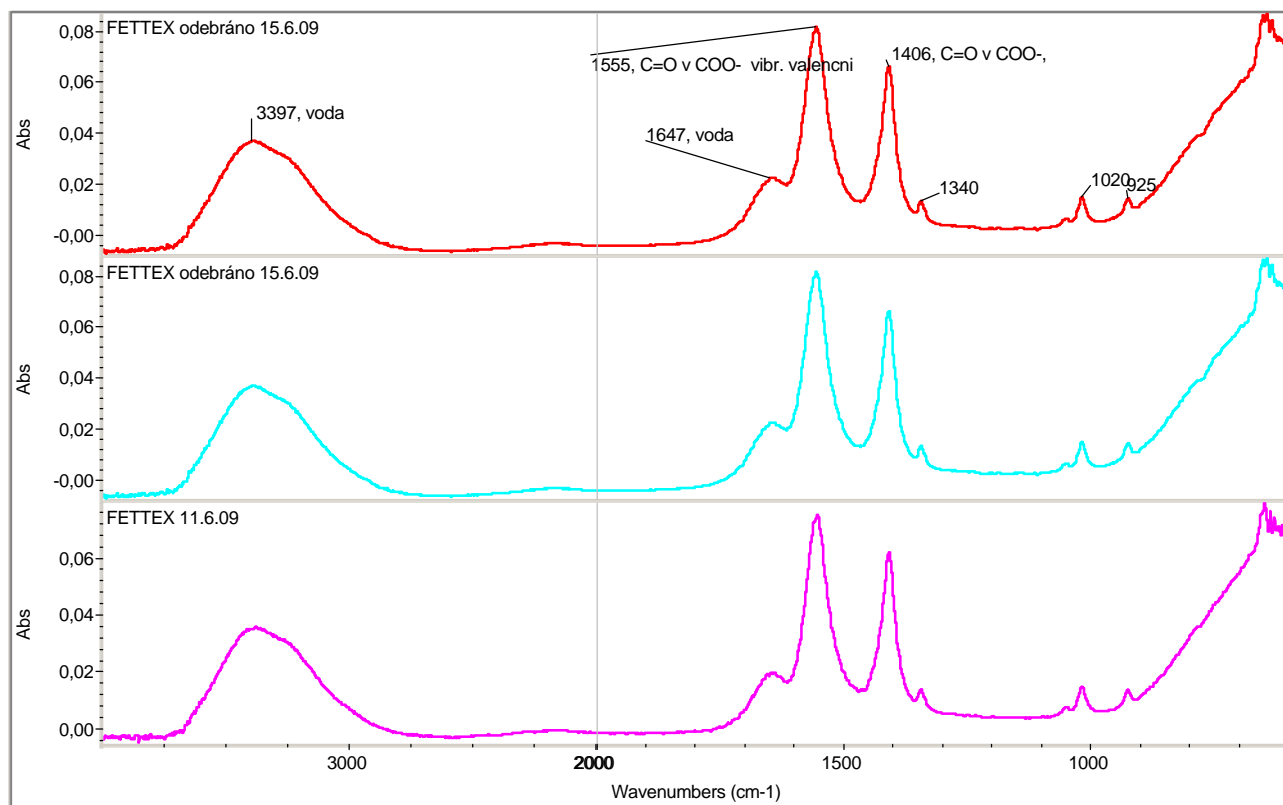
8.1.1 Chemická analýza hasiv a degradačních produktů po zkouškách hašení

Jednotlivé vzorky byly analyzovány na FTIR spektroskopu Avatar 320 fy Nicolet v laboratoři TÚPO. Naměřená spektra byla vyhodnocena softwarem OMNIC verze 7.3 s využitím knihoven spekter „The Aldrich Library of Infrared Spectra“ a „HR Inorganics III“.

Výsledky chemické analýzy hasiva Fettex

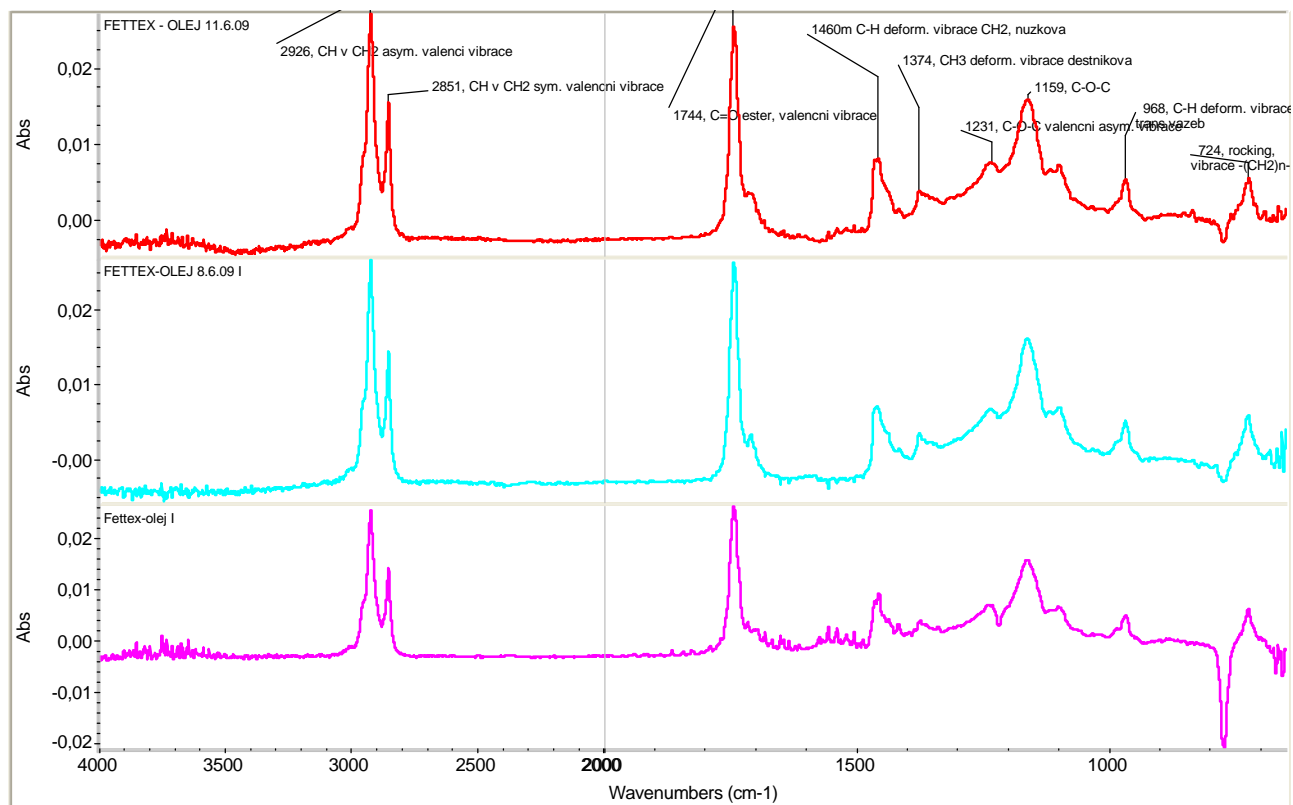
Vyhodnocení vychází z přítomnosti absorpčních pásů s vrcholy při $(1555 \text{ a } 1406) \text{ cm}^{-1}$. Tyto absorpční pásy odpovídají valenčním vibracím vazby C=O v karboxylové skupině (COO^-) soli organické kyseliny. Naopak absence výrazných absorpčních pásů valenčních vibrací vazby C-H ve skupinách CH_3 a CH_2 ve spektrální oblasti $(3000 - 2700) \text{ cm}^{-1}$ jednoznačně naznačuje, že jde o sůl kyseliny octové. Z infračerveného spektra je poměrně obtížné identifikovat kation soli. Vzhledem ke skutečnosti, že poloha absorpčního pásu valenční vibrace vazby C=O v pozici $1580 \div 1540$ je ovlivněna hmotností kationtu soli, kdy poloha vrcholu pásu se se stoupající hmotností kationtu posouvá k nižším vlnovým číslům a pro sodík je poloha 1565 cm^{-1} , je možno vyslovit předpoklad, že jde o těžší kation než sodík.

Ve spektrech na obr. 28 je pak patrná i přítomnost vlhkosti, respektive vody, viz absorpční pásy s vrcholy v poloze $(3397 \text{ a } 1647) \text{ cm}^{-1}$. Hasivo Fettex je vodným roztokem soli organické kyseliny, pravděpodobně octanu, viz obr. 33.



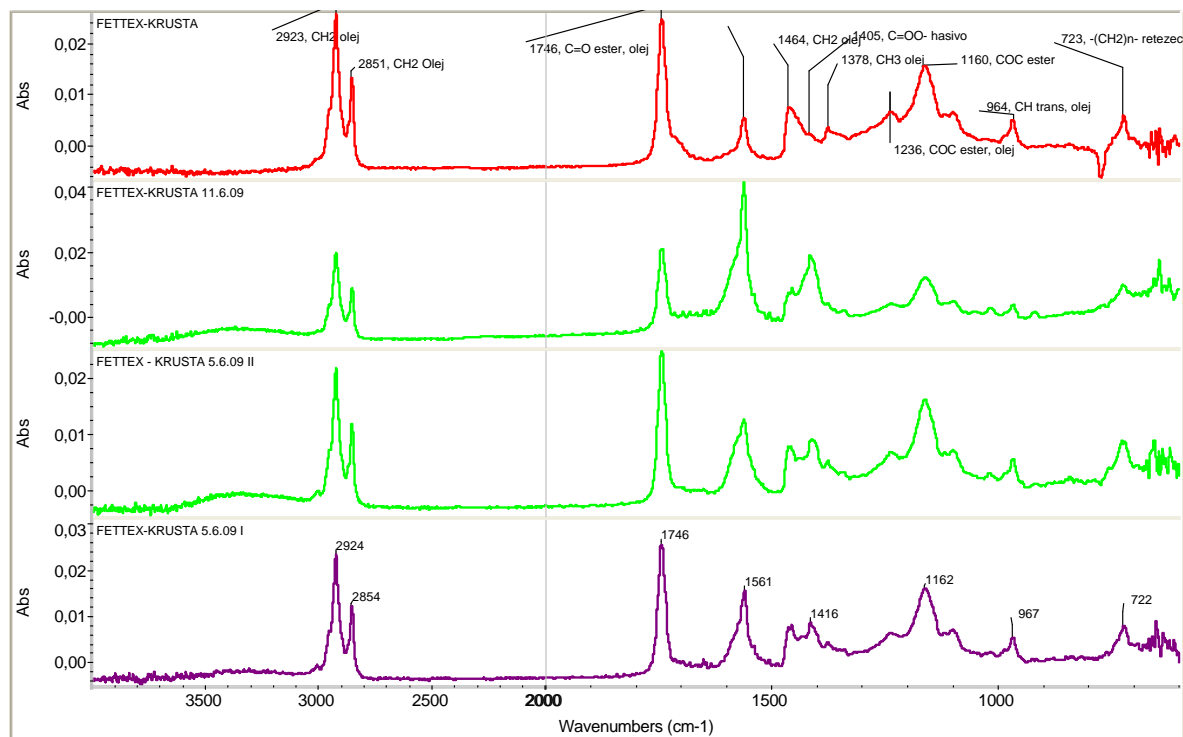
Obr. č. 33 Infračervená spektra hasiva Fettex

Ve spektrech olejů po hašení jsou především absorpční pásy odpovídajícímu typickému esterovému vysychavému oleji přírodního původu. Ve spektrech nalezneme absorpční pásy valenčních vibrací vazby C–H ve skupinách CH₂ (asymetrická vibrace – absorpční pás s vrcholem v poloze 2926 cm⁻¹ a symetrická vibrace – absorpční pás s vrcholem v poloze 2851 cm⁻¹). Absorpční pás s vrcholem při 1744 cm⁻¹ odpovídá valenční vibraci vazby C=O v esteru. Komplementární pásy valenčních vibrací vazby –C–O–C esteru pak nalezneme v polohách (1231 a 1159) cm⁻¹. Deformační vibrace vazeb C–H odpovídají absorpčním pásům v polohách 1460 cm⁻¹ (nůžková vibrace CH₂) a 1374 cm⁻¹ (deštníková vibrace vazby CH₃). Absorpční pás s vrcholem v poloze 968 cm⁻¹ je obrazem mimorovinné deformační vibrace vazeb C–H v trans poloze na dvojné vazbě C=C, viz obr. č. 34.



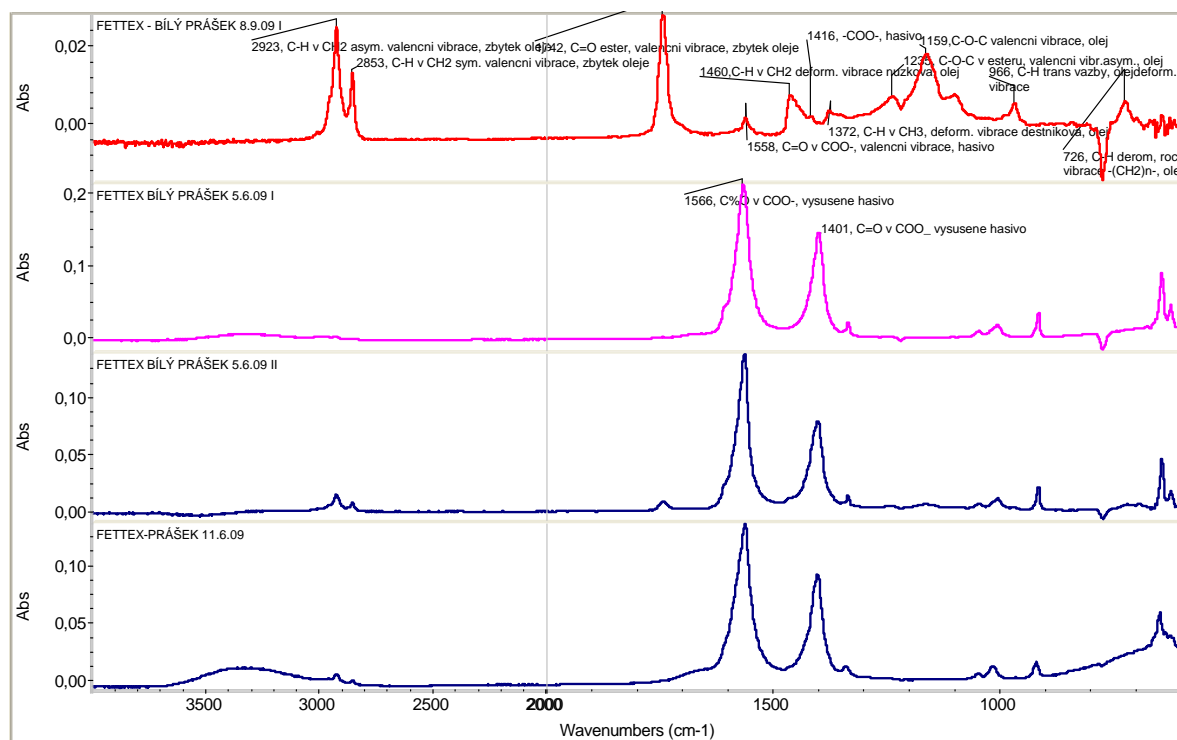
Obr. č. 34 Infračervená spektra oleje po hašení hasivem Fettex

Ve spektrech krusty na povrchu oleje po hašení přípravkem Fettex nalezneme také výše popsané absorpční pásy esterového oleje, viz obr. č. 35. Dále jsou zde zřetelně patrné absorpční pásy hasiva, tj. pásy soli organické kyseliny (1562 a 1405 cm^{-1}). Poloha těchto pásů odpovídá poloze pásů ve spektru hasiva na obr. č. 34. Posun vrcholu absorpčního pásu o jednotky cm^{-1} je způsoben chybou měření při spektrálním rozlišení 4 cm^{-1} . Krusta je tedy tvořena polymerovaným olejem a odpařeným hasivem (solí organické kyseliny – octanem).



Obr. č. 35 Infračervená spektra krusty po hašení oleje hasivem Fettex

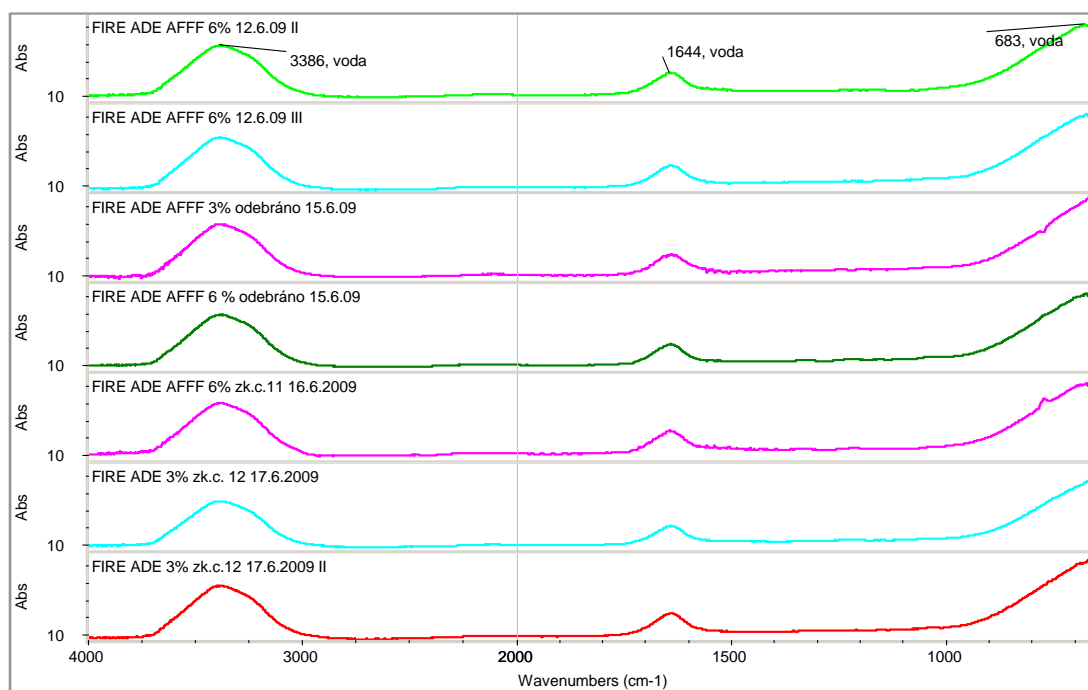
Infračervená spektra prachového stěru po hašení jsou uvedena na obr. č. 36. Bílý prášek obsahuje tytéž složky, tj. sůl organické kyseliny a esterový olej stejně, jako krusta po hašení. Pouze koncentrace obou složek se liší. V krustě převažuje olej, v bílém prášku sůl organické kyseliny.



Obr. č. 36 Infračervená spektra prachového stěru po hašení hasivem Fettex

Hasiva Fire Ade

Na obr. č. 37 jsou uvedena infračervená spektra roztoku hasiva Fire Ade. Ve spektrech je patrná pouze přítomnost vody. Absorpce infračerveného záření vodou je velmi intenzivní. V případě koncentrace účinné složky 3 % nebo 6 % jsou absorpční pásy účinné složky zcela překryty vodou. Proto je nutno vedle spektra roztoku měřit i spektrum odparku.

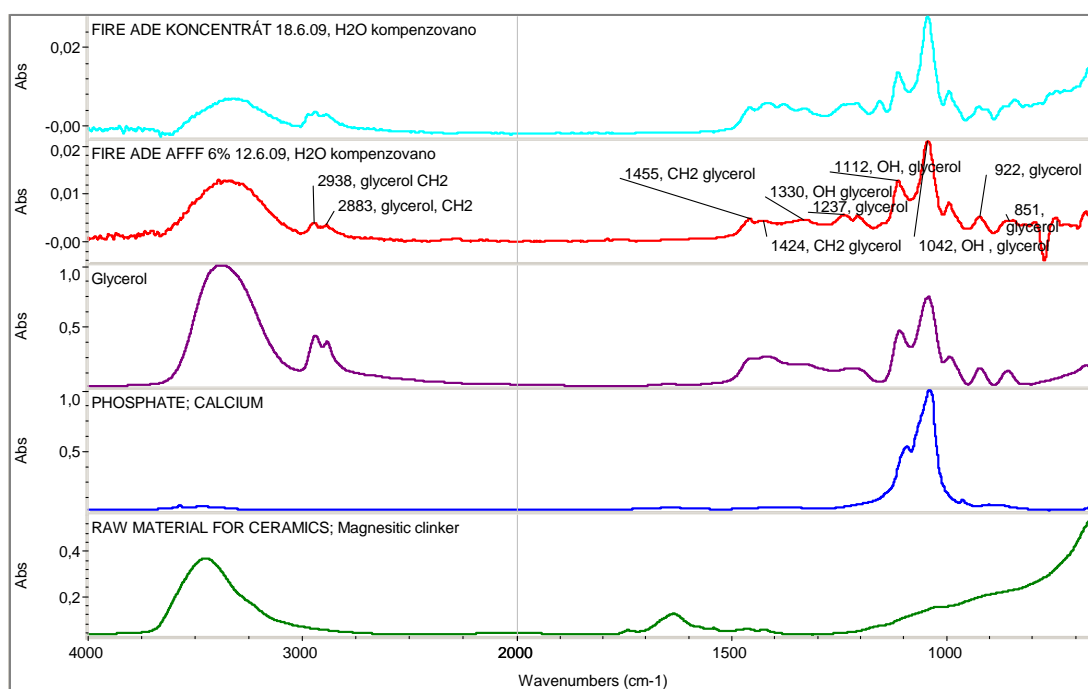


Obr. č. 37 Infračervená spektra roztoků hasiva Fire Ade 3 % a 6 % roztok

Na obr. č. 38 jsou pak uvedena spektra koncentrátu hasiva Fire Ade. Tato spektra jsou upravena odečtením spektra vody od spektra hasiva tak, aby bylo spektrum vody odstraněno. Takové spektrum odpovídá přibližně spektru odparku. Z tohoto spektra pak byla provedena identifikace složek hasiva.

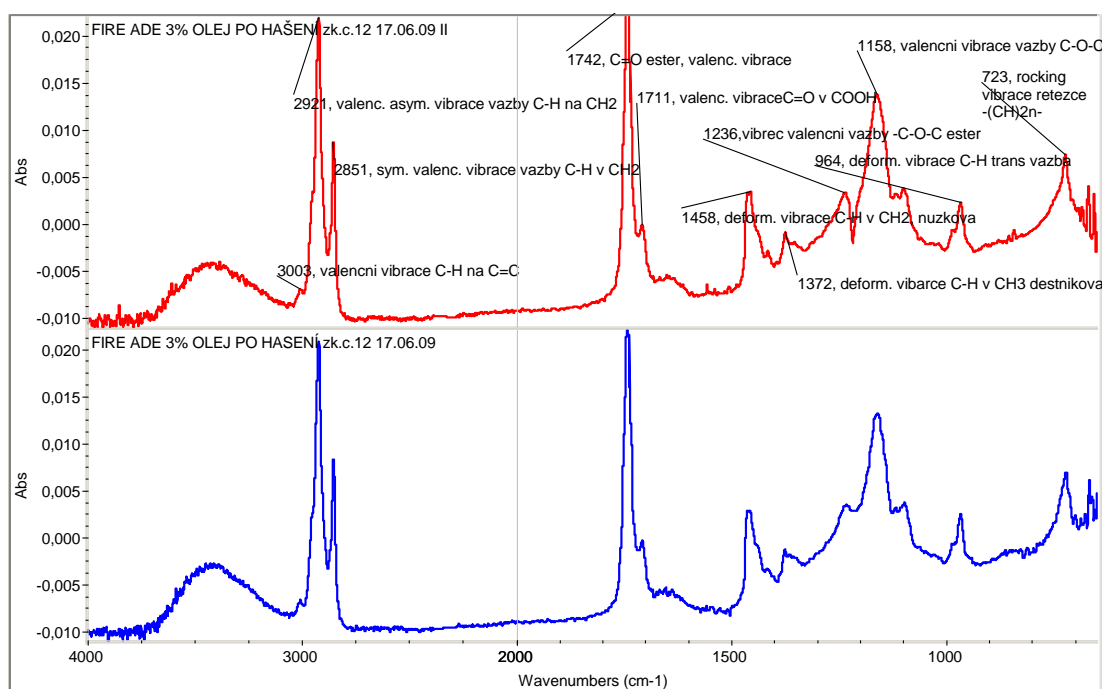
Hasivo Fire Ade obsahuje majoritní složku glycerol. Tato složka byla identifikována na základě absorpčních pásů s vrcholy v poloze $(2930 \text{ a } 2883) \text{ cm}^{-1}$, které odpovídají valenční asymetrické a symetrické vibraci vazby C–H ve skupině CH_2 a pásů při $1455 \text{ a } 1424 \text{ cm}^{-1}$ odpovídající deformačním vibracím vazby C–H ve skupině CH_2 . Vibracím vazby O–H glycerolu pak odpovídají pásy s vrcholy v polohách $(1330, 1237, 1112 \text{ a } 1042) \text{ cm}^{-1}$. Vzhledem ke koincidenci absorpčních pásů glycerolu s absorpčními pásy valenčních vibrací vazby P–O ve fosforečnanu nelze vyloučit, že hasivo obsahuje také fosforečnan.

Pravděpodobně je obsažena i další oxidická anorganická složka, jak naznačuje absorpční pás v poloze 650 cm^{-1} .



Obr. č. 38 Infračervená spektra odparků hasiva Fire Ade

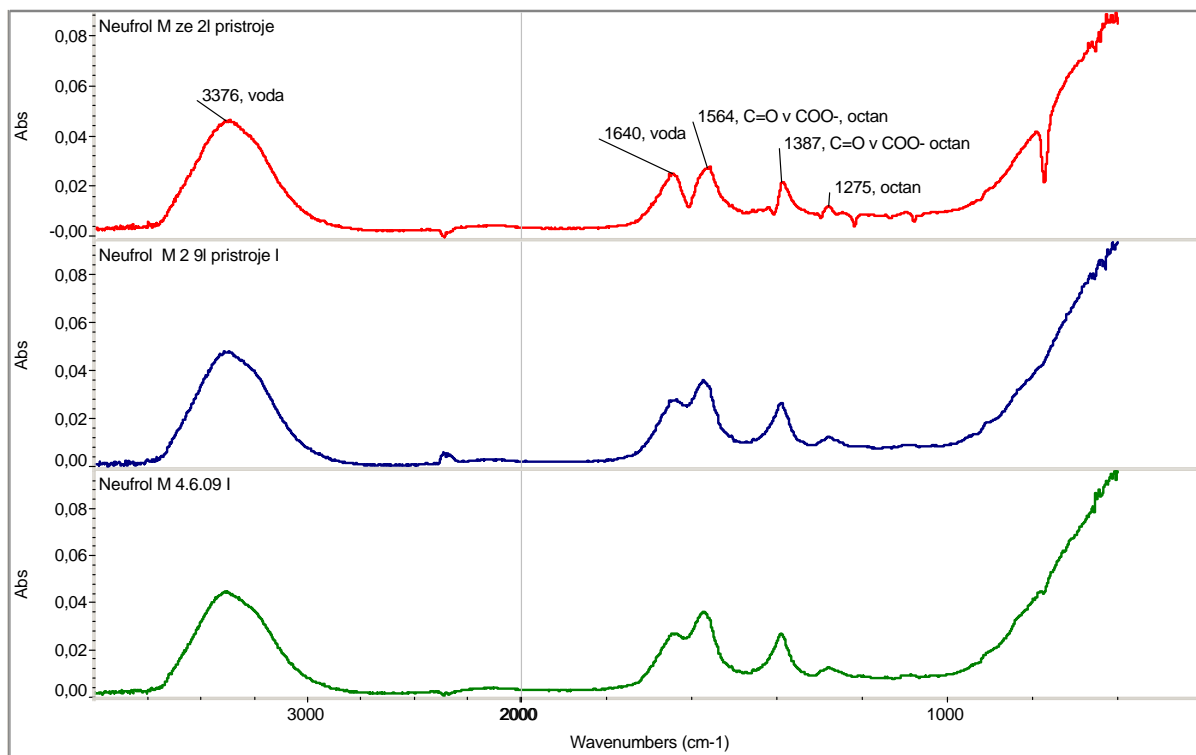
Olej po hašení (viz spektra na obr. č. 39) je olejem s obsahem dvojných vazeb (absorpční pás při 3003 cm^{-1}), tzn. neprošel polymerací. Obsahuje i výraznou koncentraci vyšších mastných kyselin, což dokazuje přítomnost absorpčního pásu v poloze 1711 cm^{-1} , odpovídající valenční vibraci vazby C=O ve skupině $-\text{COOH}$.



Obr. č. 39 Infračervená spektra oleje po hašení hasivem Fire Ade

Hasivo Neufrol M

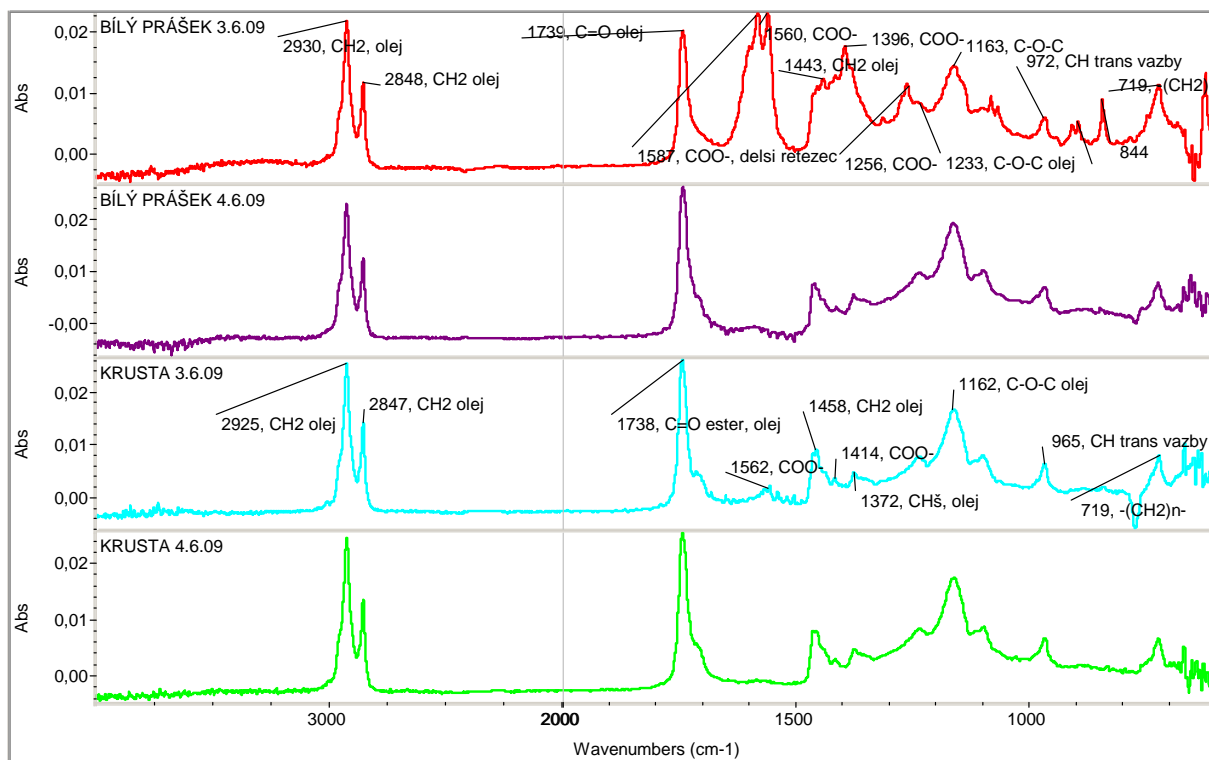
Hasivo Neufrol M je vodným roztokem organické soli, obdobně jako hasivo Fettex. Tomu odpovídají absorpční pásy vody i vazeb COO, viz obr. č. 40. Podle polohy absorpčního pásu valenční vibrace C=O 1564 cm^{-1} jde o octan sodný.



Obr. č. 40 Infračervená spektra hasiva Neufrol M

Všechna výše hodnocená hasiva mohou obsahovat další složky, jejichž koncentrace je pod mezí detekce infračervené spektroskopie. Bylo by možné využít další analytické metody, např. GC/MS.

Ve spektru prachového stěru (bílého prášku) jsou vedle absorpčních pásů esterového oleje patrné i absorpční pásy solí organické kyseliny, obr. č. 41. Podle štěpu absorpčního pásu 1587 a 1560 je zřejmé, že jde vedle octanu sodného i o přítomnost soli vyšší mastné kyseliny, pravděpodobně produkt reakce anorganických složek hasiva a vyšších mastných kyselin v oleji. Krusta opět obsahuje olej a octan sodný.



Obr. č. 41 Infračervená spektra prachového stěru a krusty po hašení Neufrolem M

8.1.2 Chemická analýza plynných zplodin hoření vzorkovaných při zkouškách hašení

Účelem těchto zkoušek bylo vzorkovat ovzduší zkušební haly v těsné blízkosti zkušebního objektu 25F a kontinuálně v něm měřit v průběhu zkoušky koncentrace vybraných toxikantů a úbytku kyslíku ve stanoveném měřicím bodě M_1 . Získané výsledky měření pak porovnat s hodnotami PEL a NPK-P podle NV č. 523/2002 Sb [54].

Souřadnice ústí vzorkovací trubice v měřicím bodu $M_1 = (7,8;7,8;2,5)$ m byly v blízkosti zkušebního objektu, viz obr. č. 17. Vzorkované ovzduší bylo analyzováno měřicím zařízením TESTO 350 s ukládáním dat do notebooku viz obr. č. 42 a obr. č. 43.



Obr. č. 42 Foto vzorkovacího potrubí a místa odběru



Obr. č. 43 Měřicí zařízení TESTO typ 350

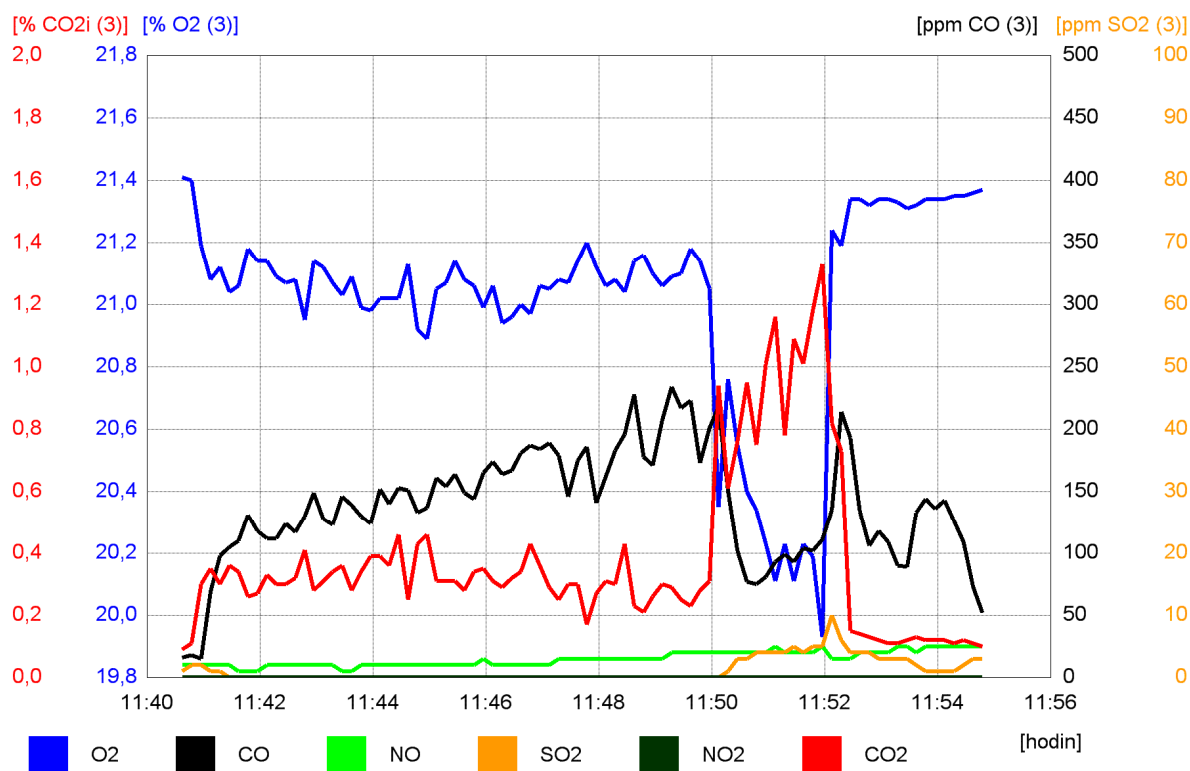
Hašení slunečnicového oleje hasivem Neufrol M

Zkoušky byly provedeny dne 11. 6. 2009 ve zkušební hale TÚPO v Modřanech. V časových intervalech 10 s byly kontinuálně vzorkovány/měřeny koncentrace CO , CO_2 , O_2 , NO , NO_2 , SO_2 v ovzduší odebíraného v měřicím bodu M1, vedeny vzorkovacím potrubím do TESTA s ukládáním dat do počítače.

Podmínky zkoušek:

teplota okolí $t_{\text{okolí}}$, ($^{\circ}\text{C}$)	18
barometrický tlak p_{bar} , (kPa)	98,5
relativní vlhkost vzduchu Φ , (%)	41

Výsledky zkoušek jsou zachyceny na obr. č. 44 v grafu koncentrací analyzovaných zplodin naměřených v průběhu zkoušek, které jsou vyčísleny v tabulce č. 27.



Obr. č. 44 Graf koncentrací zplodin hoření při použití Neufrolu M

Tabulka č. 27 Koncentrace zplodin hoření a úbytku kyslíku při použití Neufrolu M

Měřené veličiny	O ₂ [% obj.]	CO [ppm]	NO [ppm]	SO ₂ [ppm]	NO ₂ [ppm]	CO ₂ [% obj.]
hodnoty naměřené cca 2 min. před vzplanutím	21,14	173	4	0	0	0,28
maximální hodnota	21,41	234	5	10	0	1,33
minimální hodnota	19,93	15	1	0	0	0,09
odhad rozšířené nejistoty měření	0,34	20	0,5	1,0	n	0,02

Odhady rozšířené nejistoty měření jednotlivých analytů (k=2):

kyslík O ₂ :	$U_{O_2} = \pm 0,34 \text{ \% obj.}$
oxid uhelnatý CO:	$U_{CO} = \pm 20 \text{ ppm}$
oxidy dusnatý NO:	$U_{NO} = \pm 0,5 \text{ ppm}$
oxid siřičitý SO ₂ :	$U_{SO_2} = \pm 1,0 \text{ ppm}$
oxid uhličitý CO ₂ :	$U_{CO_2} = \pm 0,02 \text{ \% obj.}$

Z grafu na obrázku č. 44 vyplývá, že:

- Při dvouminutovém intervalu hoření oleje před zahájením hašení poklesly koncentrace kyslíku o 1,21 % obj. a oxidu uhelnatého o 62 ppm, zatímco koncentrace oxidu uhličitého

se zvýšila o 1,05 % obj. U koncentrací ostatních sledovaných složek nebyly zaznamenány významné změny.

- b) V průběhu hašení koncentrace kyslíku vzrostla o 1,26 % obj. a koncentrace oxidu uhelnatého vzrostla o 103 ppm. Koncentrace oxidu uhličitého poklesla 0,60 % obj. U koncentrací ostatních sledovaných složek nebyly zaznamenány významné změny.
- c) Po uhašení a zapnutí nucené ventilace odvětrání se koncentrace O₂, CO a CO₂ vrátili na původní hodnoty okolí.

Z porovnání naměřených hodnot koncentrací vybraných toxikantů (viz tabulka č. 27) s hodnotami nejvyšších přípustných koncentrací (NPK-P) a přípustných expozičních limitů (PEL) z tabulky č. 28 vyplývá, že v průběhu zkoušky byly v místě vzorkování překročeny nejenom koncentrace PEL, ale i NPK-P u CO, NO a SO₂.

Tabulka č. 28 NPK-P a PEL hodnoty podle NV č. 523/2002 Sb. [54]

Plyn	NPK-P [ppm]	PEL [ppm]
CO	130,95	26,19
CO ₂	25020,00	5004,00
NO	18,52	9,26
SO ₂	3,82	1,91

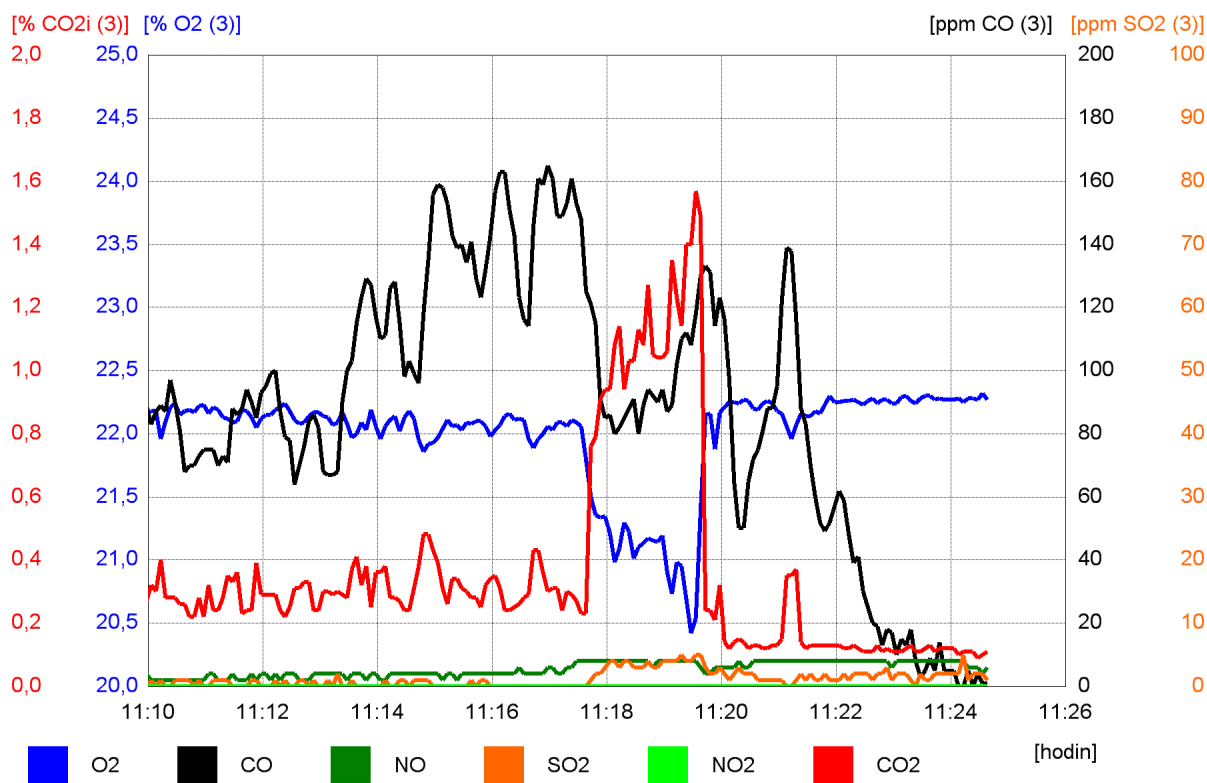
Hašení slunečnicového oleje hasivem Fettex

Zkoušky byly provedeny ve zkušební hale TÚPO v Modřanech dne 5. 6. 2009. V časových intervalech 5 s byly kontinuálně měřeny koncentrace CO, CO₂, O₂, NO, NO₂, SO₂ v ovzduší vzorkovaného v měřicím bodu M₁ a přiváděného vzorkovacím potrubím do měřicího zařízení TESTO 350 s ukládáním dat do počítače, viz obr. 42 výše.

Podmínky zkoušek:

Teplota okolí $t_{\text{okolí}}$, (°C)	20
Barometrický tlak p_{bar} , (kPa)	98,4
Relativní vlhkost vzduchu Φ , (%)	31 ÷ 35

Výsledky zkoušek jsou zachyceny na obr. č. 45 v grafu koncentrací analyzovaných zplodin, naměřených v průběhu zkoušek, které jsou vyčísleny v tabulce č. 29.



Obr. č. 45 Graf koncentrací zplodin hoření při použití hasiva Fettex

Tabulka č. 29 Koncentrace zplodin hoření a úbytku kyslíku při použití Fettexu

Měřená veličina	O ₂ [% obj.]	CO [ppm]	NO [ppm]	SO ₂ [ppm]	NO ₂ [ppm]	CO ₂ [% obj.]
hodnoty naměřené 20 s před vzplanutím	22,11	161	3	0	0	0,29
maximální hodnota	22,49	165	4	5	0	1,57
minimální hodnota	20,42	0	0	0	0	0,09
odhad nejistoty měření	0,36	20	0,4	0,5	n	0,03

Odhady rozšířené nejistoty měření jednotlivých analytů (k=2):

Kyslík:	$U_{O_2} = \pm 0,36 \text{ \% obj}$
Oxid uhelnatý:	$U_{CO} = \pm 20 \text{ ppm}$
Oxidy dusíku:	$U_{NO/NO_2} = \pm 0,4 \text{ ppm}$
Oxid siřičitý:	$U_{SO_2} = \pm 0,5 \text{ ppm}$
Oxid uhličitý:	$U_{CO_2} = \pm 0,03 \text{ \% obj.}$

Z grafu na obrázku č. 45 vyplývá, že:

- a) Při dvouminutovém hoření oleje poklesly koncentrace kyslíku o 1,02 % obj. a oxidu uhelnatého o 79 ppm, zatímco koncentrace oxidu uhličitého se zvýšila o 0,72 % obj. U koncentrací ostatních sledovaných složek nebyly zaznamenány významné změny.

- b) V průběhu hašení, koncentrace kyslíku vzrostla o 1,73% obj., koncentrace oxidu uhličitého poklesla o 1,43 % obj. a koncentrace oxidu uhelnatého poklesla o 68 ppm. U koncentrací ostatních sledovaných složek nebyly zaznamenány významné změny.
- c) Po uhašení a zapnutí nucené ventilace odvětrání se koncentrace O₂, CO a CO₂ vrátili na původní hodnoty okolí.

Z porovnání naměřených hodnot koncentrací vybraných toxikantů (viz tabulka č. 29) s hodnotami nejvyšších přípustných koncentrací (NPK-P) a přípustných expozičních limitů (PEL) z tabulky č. 28 vyplývá, že v průběhu zkoušky byly v místě vzorkování překročeny nejenom koncentrace PEL, ale i NPK-P u CO, NO a SO₂.

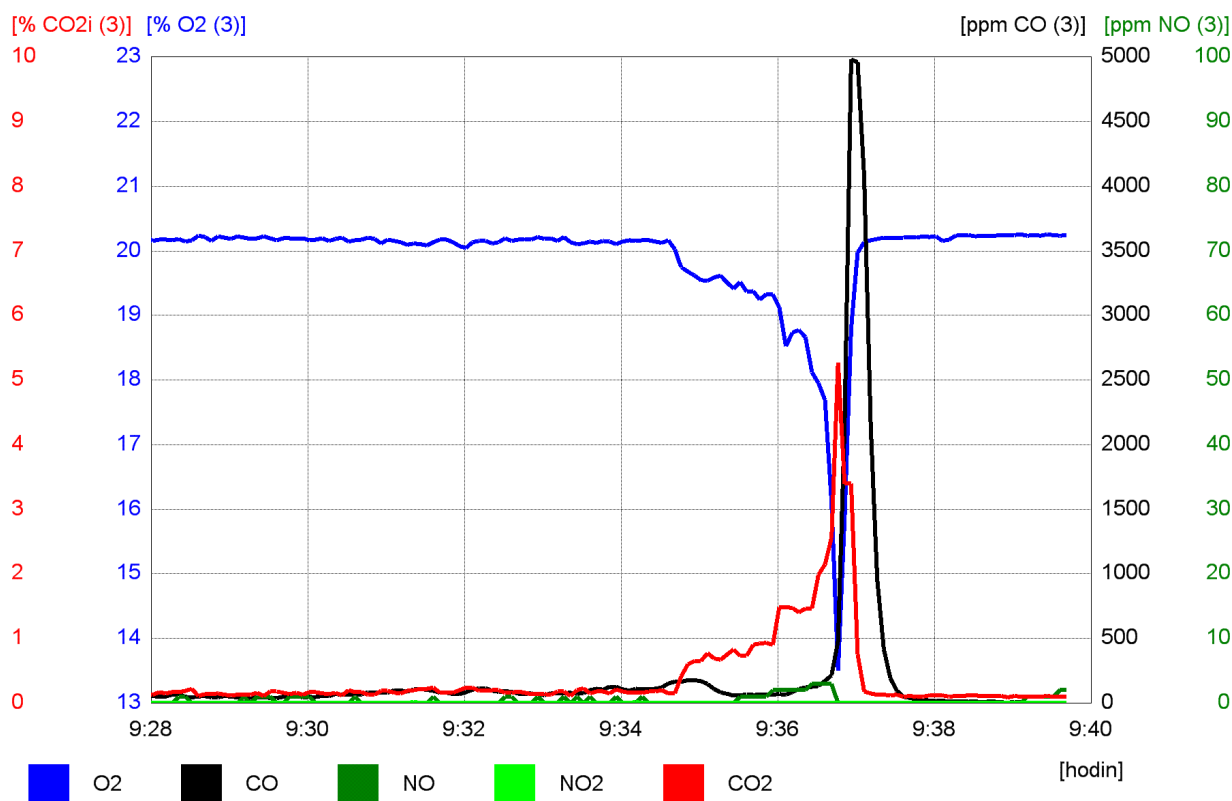
Hašení slunečnicového oleje hasivem Fire Ade AFFF 6%

Zkoušky byly provedeny ve zkušební hale TÚPO v Modřanech dne 12. 6. 2009. V časových intervalech 5 s byly kontinuálně měřeny koncentrace CO, CO₂, O₂, NO, NO₂, SO₂ v ovzduší vzorkovaného v měřicím bodu M₁ a přiváděného vzorkovacím potrubím do měřicího zařízení TESTO 350 (2) s ukládáním dat do počítače (1), viz obr. 42 výše.

Podmínky zkoušek:

teplota okolí $t_{\text{okolí}}$, (°C)	24,1
barometrický tlak p_{bar} , (kPa)	98,1
relativní vlhkost vzduchu Φ , (%)	40

Výsledky zkoušek jsou zachyceny na obr. č. 46 v grafu koncentrací analyzovaných zplodin, naměřených v průběhu zkoušek, které jsou vyčísleny v tabulce č. 30.



Obr. č. 46 Graf koncentrací zplodin hoření při použití Fire Ade 6 %

Tabulka č. 30 Koncentrace zplodin hoření a úbytku kyslíku při použití Fire Ade 6 %

Měřená veličina	O ₂ [% obj.]	CO [ppm]	NO [ppm]	NO ₂ [ppm]	CO ₂ [% obj.]
hodnoty naměřené 20 s před vzplanutím	18,66	122	2	0	1,46
maximální hodnota	20,28	4979	3	0	5,27
minimální hodnota	13,50	0	0	0	0,09
odhad nejistoty měření	0,32	20	0,30	n	0,08

Odhady rozšířené nejistoty měření jednotlivých analytů (k=2):

Kyslík:	$U_{O_2} = \pm 0,32 \text{ \% obj.}$
Oxid uhelnatý:	$U_{CO} = \pm 20 \text{ ppm}$
Oxidy dusíku:	$U_{NO/NO_2} = \pm 0,3 \text{ ppm}$
Oxid uhličitý:	$U_{CO_2} = \pm 0,08 \text{ \% obj.}$

Z grafu na obrázku č. 46 vyplývá, že:

- a) Při dvouminutovém hoření oleje poklesly koncentrace kyslíku o 0,74 % obj. a oxidu uhelnatého o 53 ppm, zatímco koncentrace oxidu uhličitého se zvýšila o 0,65 % obj. U koncentrací ostatních sledovaných složek nebyly zaznamenány významné změny.

- b) V průběhu hašení koncentrace kyslíku poklesla o dalších 5,91 % obj. a koncentrace oxidu uhelnatého vzrostla o 4921 ppm. Koncentrace oxidu uhličitého vzrostla 4,44 % obj. U koncentrací ostatních sledovaných složek nebyly zaznamenány významné změny.
- c) Po uhašení a zapnutí nucené ventilace odvětrání se koncentrace O₂, CO a CO₂ vrátily na původní hodnoty okolí.

Z porovnání naměřených hodnot koncentrací vybraných toxikantů (viz tabulka č. 30) s hodnotami nejvyšších přípustných koncentrací (NPK-P) a přípustných expozičních limitů (PEL) z tabulky č. 28 vyplývá, že v průběhu zkoušky byly v místě vzorkování překročeny nejenom koncentrace PEL, ale i NPK-P u CO a NO.

8.2 Ověření hustot toků tepla při zkoušce v blízkosti zkušebního zařízení

Hustota toku tepla byla měřena 2 ks Schmidt – Boelterovými radiometry typu GTW 5-32-485A o výkonu 50 kW/m² umístěnými 0,8 m od levého a pravého boku zkušebního objektu a ve výšce 1,5 m a 1,3 m nad podlahou zkušební haly. Data byla z radiometrů snímána do autonomní měřicí ústředny a následně ukládána do notebooku. Výsledky zkoušek jsou uvedeny v kapitole 7.1, tabulka č. 21.

Hustoty toku tepla byly z provozních důvodů měřeny pouze při některých zkouškách hašení na konci 2. minuty volného hoření oleje ve zkušebních objektech 5F a 25F. Výsledky těchto měření jsou shrnuty v následující tabulce č. 31.

Nebezpečí zapálení běžných materiálů v okolí hořícího oleje v nádobách o velikosti podobné zkušebnímu objektům 5F a 25F lze posoudit porovnáním hodnot z tabulky č. 31 s hodnotami minimálních hustot toku tepla vybraných materiálů uvedených v tabulce č. 32.

Tabulka č. 31 Hustoty toku tepla při hašení ve zkušebních objektech 5F a 25F

Hasivo	Hustota toku tepla q [kW/m ²]			
	2 min hoření oleje		Maximální hodnota při hašení	
	5F	25F	5F	25F
Neufrol M	1,4	8,5	1,77	9,22
Neufrol M ředěný vodou	n	n	n	n
Fettex	n	n	n	n
Fire Ade 3 %	n	n	n	n
Fire Ade 6 %	n	n	n	n
SHZ vodou	n	1,24	n	38,99
SHZ roztokem potaše	n	1,04	n	11,32
VTMP 40 bar	n	n	n	n
HP s roztokem potaše	n	1,57	n	1,66

Vysvětlivka: n - neměřeno ani při deflagr. reakcích při hašení Neufrolem M ředěným vodou a Fire Ade roztoky, kdy byly toky tepla podstatně vyšší.

Tabulka č. 32 Minimální zápalné hodnoty hustoty toku tepla [53]

Materiál	Hustota toku tepla minim. [kW/m ²]
PUR, tuhá pěna, RT (135 kg/m ³ , tl. 4 cm)	13
PMMA, černý (1200 kg/m ³ , tl. 1 cm)	8
dřevěná deska (700 kg/m ³ , tl. 1,9 cm)	10
dřevovláknitá deska (270 kg/m ³ , tl. 1,3 cm)	8
vlnitá papírová lepenka, dvojitá stěna (tl. 6 mm)	12,5
akrylová plošná textilie (546 g/m ²) na PUR pěnové desce (36 kg/m ³)	7
bavlněná textilie (213 g/m ²) na PUR pěnové desce (36 kg/m ³)	7
PMMA (1190 kg/m ³)	9,5
polystyren (1040 kg/m ³)	14

8.3 Ověření vlivu rychlosti proudění ovzduší v okolí zkušební aparatury

Zkušební norma [26] zřejmě omylem nespecifikuje požadavek na prostředí z hlediska zabránění proudění vzduchu, tak jako tomu je u zkoušek pro třídy požárů A a B. Přesto při

zkouškách hašení jedlých olejů byla zapnuta nucená ventilace ve zkušební hale na minimum (stupeň 2) a zavřeny všechny vstupní dveře/vrata.

Při zkouškách byla namátkově měřena rychlost proudění vzduchu pomocí termoanemometrického čidla FVA 935 TH5, viz obr. č.16, ve 4 různých pozicích V_1 až V_4 , ale vždy ve stejné výšce – na úrovni horního okraje zkušebního objektu nad podlahou. Rychlost proudění kolísala v průběhu zkoušky od 0,07 m/s do 0,57 m/s také v závislosti na rychlosti větru v okolí ventilačního průduchu (nad zkušebním objektem je instalován velký zvon/digestoř jako prvek systému nuceného odvětrání s vývodem ventilačního potrubí nad střechu zkušebního objektu) a na vzestupném proudění vzduchu po vznícení oleje a zvyšování rychlosti odhořívání.

Z uvedeného vyplývá, že kolísání rychlosti proudění vzduchu v rozmezí od 0,07 m/s do 0,57 m/s negativně neovlivňuje podmínky zkoušek. Lze ale předpokládat, že vyšší rychlosti proudění by negativně ovlivnily opakovatelnost resp. reprodukovatelnost výsledků (doby zahřívání oleje do vznícení, teploty vznícení, dobu hašení, spotřebu hasiva).

Do zkušební normy, přílohy L, proto doporučuji doplnit požadavek na proudění vzduchu při zkouškách třídy požáru F tak, aby nebyla překročena maximální rychlost 0,5 m/s v průběhu celé zkoušky.

8.4 Ověření vlivu způsobu hašení daným hasivem

Za účelem zajištění stejných zkušebních podmínek a tím i vzájemné porovnatelnosti hasebnímu potenciálu testovaných hasiv určených pro třídu požáru F byly experimenty prováděny vždy ve stejné pozici hasicího přístroje a proudnice na hadici. Osa proudnice byla směřována do středu zkušebního objektu s olejem pod úhlem 45° od vodorovné roviny a ve vzdálenosti 1 m od středu hladiny oleje ve zkušebním objektu, který byl k hasicímu přístroji situován delší stranou.

K ověření vlivu způsobu hašení byl realizován pokus hašení zkušebního objektu 25F s 25 l slunečnicového oleje, a to ručně hasicím přístrojem T 9 PMDS tak, že hasivo Neufrol M bylo aplikováno zkušebním technikem z boku zkušebního objektu, tj. v jeho podélném směru se zacílením na střed nádoby, viz následující obr. č. 48.



Obr. č. 47 Hašení zkušebního objektu 25F ručně v podélném směru

Podmínky zkoušek ze dne 22. 6. 2010 (1. zkouška) a 23. 6. 2009 (2. zkouška) byly následující:

Datum zkoušky	22. 6. 2010	23. 6. 2010
teplota okolí $t_{\text{okolí}}$, (°C)	13,8	15,4
barometrický tlak p_{bar} , (kPa)	97,76	97,5
relativní vlhkost vzduchu Φ , (%)	36	36
rychlost proudění vzduchu, (m/s)	0,07	0,56

Tabulka č. 33 Výsledky zkoušek hašení v podélném směru

Měřená veličina		Výsledek měření: 1. zkouška 2. zkouška	Čas [min:s]
teplota oleje při vznícení [°C]		363,2 ± 0,5 367,7 ± 0,5	144:07 157:37
teplota oleje při zahájení hašení, $t_{\text{haš}}$ [°C]		373,0 ± 0,5 372,5 ± 0,5	146:07 159:37
doba prvního uhašení [s]		4,75 0,74	146:11 159:38
čas opětovného vznícení po předchozím uhašení	1.	ne ne	- -
	2.	- -	- -
	3.	- -	- -
výška plamenů > 2 m		ano ne	- -
výstřik oleje z nádoby při hašení		ano ne	- -
celková doba hašení [s]		4,75 0,74 ± 0,20	- -
spotřeba hasiva [kg]		7,22 ± 0,02 2,94 ± 0,02	- -

První zkouška byla spojena s prudkou reakcí – velkými plameny a rozstříkem oleje, protože proudnice nebyla opatřena mlhovou tryskou. Bylo hašeno plným proudem. Porovnání výsledku zkoušky ze dne 23. 6. 2009 se srovnatelnými zkouškami ze dne 3. 6. 2009 a 4. 6. 2009 (se stabilní polohou) za podmínek reprodukovatelnosti, viz následující tabulka:

Tabulka č. 34 Tabulka porovnání výsledků hašení z různých směrů

Datum	T_{VZN} [°C]	TO [°C]	Doba hašení [s]	Spotřeba hasiva [kg]	Výška plamenů > 2 m	Opakované vznícení
03. 06. 2009	367,7	379,8	15,13	3,22	krátkodobá	ano
04. 06. 2009	361,9	370,0	10,57	1,78	krátkodobá	ne
23. 06. 2009	363,2	373,0	4,75	2,94	ne	ne

Vysvětlivky: T_{VZN} je teplota vznícení, TO je teplota oleje po 2 min volného odhořívání

Z výsledků provedených zkoušek vyplývá, že směr hašení vzhledem k délce stran zkušebního objektu F25 nemá podstatný vliv na průběh hašení a výsledek zkoušek.

8.5 Ověření vlivu velikosti objemu oleje ve zkušební nádobě na výsledek zkoušky

Vliv velikosti objemu oleje ve zkušební nádobě byl posuzován porovnáním výsledků zkoušek se zkušebním objektem 5F ze dne 27. 5., 29. 5. 2009 a 25F se stejným slunečnicovým olejem a stejným hasivem Neufrol M ze dne 3. 6. 2009 za podmínek reprodukovatelnosti.

V následující tabulce jsou uvedeny parametry, které dokladují do určité míry vlivy rozdílné velikosti zkušební nádoby.

Tabulka č. 35 Porovnání parametrů zkoušek hašení při různých objemech oleje

Datum	Zkušební objekt	T_{VZN} [°C]	$\tau_{ohřevu}$ [min:s]	Spotřeba hasiva [kg]	$\tau_{hašení}$ [s]
27. 05. 2009	5F	360,4	29	1,76	5
29. 05. 2009	5F	376,9	76:6,5	0,84	3,5
30. 06. 2009	25F	367,7	127	3,22	15,13

Je patrné, že:

- větší objem nádoby s olejem vyžaduje delší dobu zahřívání do vznícení, větší množství hasiva a dobu hašení k uhašení,
- rychlejší zahřívání nádoby způsobí vznícení oleje při nižší teplotě, což v důsledku znamená i nižší teplotu oleje při zahájení hašení. Z tohoto důvodu by měla být rychlost zahřívání v normě taxativně vymezena. Údaj, že vznícení musí nastat do 3,5 hodiny, se jeví jako nepřesný pro zajištění srovnatelných podmínek opakovatelnosti zkoušek.

Závěr

V souladu s přijatými tezemi disertační práce bylo posouzení kritérií efektivnosti vybraných hasebních prostředků a hasiv zaměřeno na nově zavedenou třídu požáru F představující požáry rostlinných nebo živočišných olejů a tuků používaných v kuchyňských spotřebičích. Kolem této problematiky se začala v poslední době objevovat také řada mýtů, které se dotýkaly nejen příčin vzniku požárů, ale především problémů s jejich hašením. Hlavní pozornost jsem proto v teoretické části této práce zaměřil na posouzení příčin vzniku požárů a posouzení vlivu technologických podmínek, za kterých se tuky a oleje v kuchyňských zařízeních používají. Jedním z mýtů, které se v teorii i praxi objevují je, že opakované zahřívání tuků a olejů, zahrnutých do třídy požáru F a jejich znečištění zbytky potravin, vede k postupné tepelné degradaci tuku a olejů, důsledkem které je pak snížení teploty jejich vznícení. Snížená teplota vznícení je pak příčinou vzniku požáru.

Proto jsem porovnával požárně technické charakteristiky čerstvých i použitých jedlých olejů, které byly stanovené u olejů a tuků vybraných ke zkouškám hašení v akreditované zkušebně TÚPO Praha. Laboratorně stanovené výsledky jsem zároveň srovnával s údaji teplot vznícení naměřených při zahřívání zkušebních objektů v rámci ověřování hasební schopnosti hasiv pro třídu požáru F. Porovnání provedených měření ukázalo, že skutečně dochází k určitému snížení teploty vznícení i změně dalších charakteristik, avšak tyto změny nejsou tak markantní, aby za běžných provozních podmínek mohly být příčinou vzniku požáru. U přepálených tuků lze pozorovat změnu jejich barvy a mění se také hodnota jejich pH. Tuky se stávají kyslejší a výrazně se zhoršují jejich chuťové vlastnosti. U starých přepálených tuků se také podstatně snižuje bod kouřivosti, který představuje teplotu, při které se tuk nebo olej při zahřívání začne rozkládat na glycerol a volné mastné kyseliny. U těchto tuků už při mnohem nižších teplotách než je teplota vznícení dochází k výraznému vývinu kouře, který je charakteristicky štiplavý a může být signálem pro obsluhu, že dochází k jeho přehřívání. Značný vliv mýtů a neznalosti problematiky se však v praxi projevuje především v nedostatečném a naprosto nevhodném vybavení pracovišť, na kterých se jedlé tuky a oleje používají, prostředky pro provedení prvotního zásahu a zamezení šíření požáru. Proto jsem se v experimentální části disertační práce zaměřil v souladu se zadáním na posouzení efektivnosti dostupných hasiv pro hašení požárů třídy F.

V České republice není zaveden předpis, který by jednoznačně vyžadoval instalace stabilních hasicích zařízení pro velkokapacitní fritézy. Jejich instalaci neřeší ani mezinárodní a evropské

normy. Požadavky na tato zařízení jsou stanoveny v některých zemích pouze oborovými nebo národními předpisy. Přístup orgánů státního požárního dozoru ke kontrolám potravinářských, pekárenských a gastronomických provozů z hlediska jejich protipožárního vybavení je pouze formální. Proto jsou požáry v těchto zařízeních téměř vždy problémové. Pro ověření hasební schopnosti dostupných hasiv na našem trhu bylo nejprve nutno posoudit stávající zavedené normy, které obsahují zkoušky hasební schopnosti. Tyto normy se však při zkouškách ve značné míře opírají o lidský faktor, jejich výsledky jsou na tomto faktoru závislé a fakticky neposuzují hasiva, ale hasební prostředek jako celek. Proto jsem v této práci stanovil požadavky na uspořádání zkušebního objektu a zkušební postup tak, aby věrohodně zajišťoval opakovatelnost a objektivnost prováděných zkoušek.

Provedené výpočty výparných tepel vodných roztoků speciálních hasiv pro třídu požáru F ukázaly, že i když koncentrace látek použitých u těchto roztoků jsou poměrně vysoké ve srovnání s pěnотvornými roztoky, neprojevuje se vliv jejich výparného tepla na hasební účinky nikterak výrazněji ve srovnání s čistou vodou. Proto bylo účelem experimentálních zkoušek také ověřit skutečný hasební efekt vybraných hasiv pro třídu požáru F. Provedené zkoušky hašení prokázaly, že reálně existuje značné nebezpečí ohrožení zasahujících osob a nebezpečí rozšíření požáru při použití nevhodných hasiv a způsobů jejich aplikace, ať se jedná o vodu, pěnu na bázi AFFF i FFFP nebo hasební prášky. Také se potvrdilo, že v dotčených objektech nejčastěji rozmístěné hasicí přístroje CO_2 jsou ve spojitosti s danými technologiemi tepelné přípravy naprosto neúčinné. Na druhé straně bylo zkouškami prokázáno, že jsou na trhu dostupná speciální hasiva, která prokazují velmi dobrou hasební účinnost pro hašení požáru třídy F. Na základě studia a rozboru hasebních efektů ovlivňujících přerušení hoření u třídy požáru F jsem navrhl a ověřil nové aplikace jejich hašení použitím vysokotlaké mlhy a hasicích přístrojů s roztokem potaše (K_2CO_3) používané jako mrazuvzdorná přísada v běžných vodních hasicích přístrojích. Tato chemická látka ve vodním roztoku se sama přímo nabízí a vyplývá z chemické podstaty saponifikace tuků, jejichž součástí jsou mastné kyseliny. Zmýdelněná krusta, která se vytváří na horkém povrchu jedlých tuků a izoluje hořlavou látku od zóny hoření, se ukazuje jako nejúčinnější způsob přerušení jejich hoření.

V rozsahu prováděných zkoušek hasební schopnosti byly posuzovány také vnější vlivy na jejich výsledek, které by mohly zpochybnit jejich opakovatelnost a objektivnost. Proto byl posuzován vliv objemu oleje, délky jeho zahřívání ve zkušební nádobě, vliv rychlosti proudění vzduchu a vliv způsobu aplikace hasiva na výsledek zkoušek hasební schopnosti.

Jako nejvýraznější vliv na průběh hašení požáru třídy F vidím vliv způsobu aplikace hasiva, který může být při použití kompaktních proudů velmi nebezpečný. Vlivem kinetické energie podávané hasební látky dochází k rozdmýchání plamene, nárůstu hustoty toku tepla a rozšíření hladiny oleje, což se projeví prudkým vývinem hořlavých plynů a par, které se pak okamžitě explozivně vzněcují. Celkem bylo v rámci této disertační práce provedeno 27 zkoušek hasební schopnosti. V jejich průběhu bylo použito 760 litrů oleje. Pro ohřev zkušebních objektů se spotřebovalo celkem 140 kg propan butanu. Zkoušky byly náročné nejen na jejich přípravu a zajištění bezpečnosti jejich průběhu, ale také na následné odstranění jejich následků.

Ke zkouškám hašení bylo přistupováno komplexním způsobem. Byly posuzovány nejen výsledky hasební schopnosti a podmínky jejich stanovení, ale také chemické analýzy zbytkových produktů vzniklých v průběhu hašení, které mohou mít vliv na zasahující osoby i ochranu životního prostředí a v minulosti byly někdy výrobci hasiv záměrně podceňovány. Tento komplexní postup hodnocení hasební účinnosti navrhuji do budoucna uplatnit v rámci HZS ČR pro zkoušky všech hasiv.

Vzhledem k tomu, že v rámci této doktorské disertační práce nebylo možno z ekonomických i časových důvodů řešit celý rozsah dané problematiky, navrhl jsem realizaci dílčích výzkumných úkolů s ní souvisejících v rámci aplikovaného výzkumu v TÚPO Praha. Při konfrontaci poznatků získaných v rámci řešení a poznatků, které vyplynuly z prakticky provedených zkoušek hašení se současnou praxí, vidím jako hlavní přínos této práce zpracovaný Konspekt odborné přípravy příslušníků zásahových jednotek Hasičského záchranného sboru a návrh Metodického pokynu pro kontrolní činnost Státního požárního dozoru. Tyto metodické materiály mohou okamžitě přispět ke zlepšení stávajícího stavu a zabránit případným mimořádným situacím při provádění hasebního zásahu nevhodnými hasivy. Přínosem disertační práce v oblasti vědy a výzkumu se jistě stane přijatý program výzkumných projektů zaměřený na posuzování efektivnosti hasebních látek. V rámci tohoto programu také doporučuji dále propracovat, verifikovat a v mezinárodní normalizaci uplatnit zkušební postup pro stanovení hasební schopnosti hasiv navržený v této disertační práci tak, aby nebylo do budoucna možné, že hasební účinnost u jednotlivých tříd požáru bude různými zkušebními institucemi posuzována s odlišnými výsledky.

Conclusion

In accordance with the accepted doctoral theses, the assessment of the effectiveness criteria of selected extinguishing equipment agents is targeted at the newly established Fire class F representing fires of vegetable or animal oils and fats used in kitchen appliances. Around this issue there began to emerge a number of myths in recent years that touched not only the causes of fires, but mainly the problems with their fire fighting. Therefore I localized the main attention to evaluate the causes of fires and assess the impact of technological conditions under which fats and oils are used in kitchens in the theoretical part of this work. One of the myths that are emerging in theory and practice is that the repeated heating of fats and oils in the Class F fire and their contamination with food residues is leading to a gradual thermal degradation of fats and oils, resulting into lowering the auto-ignition temperature. Subsequently a reduced auto-ignition temperature is the cause of the fire.

Therefore I compare the fire - technical characteristics of both fresh and used cooking oils, that were determined in oils and fats selected for testing in the accredited laboratory of Fire Technical Institute in Prague. Simultaneously I compared the laboratory results with the data of the auto-ignition temperatures determined during the heating of the test objects within the verification of the extinguishing efficiency of extinguishing agents for fire class F. A comparison of the out carried measurements showed that there are some reduction in the auto-ignition temperature and a change in other characteristics indeed, but these changes are not so significant that they could cause a fire under normal operating conditions. For over fired (used several times) fats there can be changing their colour and the value of pH observed. Fats become more acid and significantly impair their taste. The smoke point, which is the temperature at which the fat or oil decompose into glycerol and free fatty acids during heating, also reduces significantly in old over fired fats. These fats have a significant evolution of smoke, which is characteristically pungent and can signal that its overheating is becoming for an operator at much lower temperatures than their auto-ignition temperature is. A considerable influence of myths and the ignorance of the issue, however, in practice, occurs mainly in poor and totally inadequate equipped workplaces where the edible fats and oils are used, with the means for conducting the initial intervention and preventing the spread of fire.

Therefore I focused on assessment of the effectiveness of available fire extinguishing agents for Class F fire in accordance with submission in the experimental part of the thesis. In the Czech Republic there is not a regulation that would explicitly require the installation of a fixed fire extinguishing equipment for high-capacity fryers introduced. Their installation does

not solve either the International or European standards. Requirements for these devices are established in some countries only by technical or national regulations. The access of the state fire surveillance to checks of food, bakery and catering facilities in the light of their fire fighting equipment is only formal. Therefore the fires are almost always problematic in these establishments. To verify extinguishing potency of extinguishing agents available in our market, it was first necessary to assess the current established standards, which include tests on fire-fighting capabilities. These standards, however, are based largely on the human factor during tests, the results are dependent on this factor and do not assess extinguishing agents factually but extinguishing means as a whole. Therefore in this work I established requirements on the configuration of the test object and test procedures to ensure the credible repeatability and objectivity of the test being performed.

The calculations of enthalpies of vaporisation of aqueous solutions of special fire extinguishing agents for Class F fire showed that despite the concentrations of the substances used for these solutions are relatively high in comparison with the foam solution, the influence of enthalpies of vaporisation does not show any extinguishing effect in comparison with pure water significantly. Therefore, the purpose of the experiments was also to verify the actual extinguishing effect of the selected fire extinguishing agents for Class F fire. The out carried fire tests showed that there is actually a significant danger to intervening people and a risk of spread of a fire using inappropriate extinguishing agents and their applications, whether they are water, AFFF and FFFP - based foam or extinguishing powders. It was also confirmed that the most often dislocated CO₂ fire extinguishers are totally ineffective in touched facilities in conjunction with thermal technologies of thermal treatment.

On the other hand, the tests demonstrated that in the market there are commercially available special extinguishing agents, which show a very good efficiency for extinguishing the Class F fire. On the basis of the study and analysis of the extinguishing effects affecting interruption of burning in a class F fire, I proposed and verified the new applications of their extinguishing using the high pressure mist and fire extinguishers with a water solution of potash (K₂CO₃) used as an anti freezing ingredient in the current water fire extinguishers. This chemical substance in aqueous solution is offers itself and results from the chemical nature of the saponification of fats which contain fatty acids. A crust from saponification which forms on the hot surface of the edible fats and isolate the combustible substance from the combustion zone, proves to be the most effective way to break their burning.

In the range of the conducted tests of fire-fighting abilities there have also been the external influences on the outcome assessed which could affect their objectivity and repeatability. Therefore the assessment of the effects of oil volume, the length of its heating in the test container, the effect of air speed and the influence of application method of extinguishing agents on the outcome of the tests of fire-fighting capabilities. As the most significant influence on the course of fighting the class F fire, I consider the influence of application method of the extinguishing agent, which may be very dangerous using the compact stream. Due to the kinetic energy of the supplied extinguishing agent blowing the flame and splashing the oil is coming up, resulting in a sharp generation of flammable gases and vapours, which then immediately catch fire explosively. Totally in the context of this thesis there were 27 tests of extinguishing capability performed. In their course there have been 760 liters of oil. For heating the test objects there have been 140 kg of propane butane consumed (totally). The tests were challenging not only for their preparation and ensuring the safety of their course, but also for the subsequent elimination of their consequences.

We approached the fire extinguishing tests in a complex way. There were not only extinguishing ability results and the conditions of their determination, but also chemical analyses of residual substances incurred during fire extinguishing, which may influence intervening persons and the protection of the environment, assessed. They were sometimes underestimated intentionally by the manufacturers of extinguishing agents in the past. I prefer applying this complex progress of extinguishing effectiveness assessment for tests of all extinguishing agents in the framework of the Fire Rescue Service of the Czech Republic in the future.

With regard to the fact that in this doctoral thesis it was not possible to address the full scope of the issue for economic and time reasons, I suggested the implementation of incremental research tasks related to the applied research at the Fire Technical Institute Prague. When confronting the knowledge gained in the framework of solutions and the knowledge that emerged from the practically realized tests of extinguishment and the current practice, I see the prepared Digest of professional training fire fighters of the Fire and Rescue Service and the proposal of the Methodical instructions for check activities of the state fire supervision as the main contribution of this work. These methodological materials can immediately contribute to improving the current situation and prevent possible emergencies during fire fighting with inappropriate extinguishing agents. The benefit of the doctoral thesis in the field of science and research will certainly be a program of a research project aimed at assessing

the effectiveness of extinguishing agents. Under this program, I also recommend a further elaboration, verification and application in the international standardization of a test procedure for determining the extinguishing capability of extinguishing agents proposed in this thesis so that it is not possible in the future, that the effectiveness of extinguishing in particular fire classes is assessed by various test bodies with different results.

Literatura

- [1] D.J. HANAHAN A KOL. *Chemie lipidů*. Praha: Nakladatelství ČAV, 1964.299 str.
- [2] O. ČERVINKA, V. DĚDEK, M. FERLES: *Organická chemie*. Praha: SNTL/ALFA, 1980.791 str.
- [3] A.PPLEWHITE, T. H. IN KIRK-OTHMER, *Encyclopedia of Chemical Technology*; Third Ed.,New York: John-Wiley & Sons, 1980, Vol. 9; pp. 795-811.
- [4] GUNSTONE, F. D.; HARWOOD, J. L.; PADLEY, F. B. *Lipid Handbook*; Second Ed.;
- [5] HUI, Y. H., *Handbook of Food Science, Technology and Engineering*, CRC Press, 2006, ISBN 1-57444-551-0
- [6] O'BRIEN, R. D., *Fats & Oils*, CRC Press, USA, 2004, ISBN 0-8493-1599-9
- [7] ČSN 65 0201 Hořlavé kapaliny – Prostory pro výrobu, skladování a manipulaci. Český normalizační institut Praha, 2003. 56 str
- [8] BEARE-ROGERS J.; DIEFFENBACHER A.; HOLM J.V. "Lexicon of lipid nutrition (IUPAC Technical Report)"2001. *Pure and Applied Chemistry* 73 (4): 685–744. doi:10.1351/pac200173040685. <http://iupac.org/publications/pac/73/4/0685/>
- [9] [http://en.wikipedia.org/wiki/smoke point](http://en.wikipedia.org/wiki/smoke_point).
- [10] ČSN EN ISO 1516 Stanovení vzplane/nevzplane - Rovnovážná metoda v uzavřeném kelímku. Český normalizační institut Praha, 2002. 24 str.
- [11] ČSN EN ISO 1523 Stanovení bodu vzplanutí - Rovnovážná metoda v uzavřeném kelímku. Český normalizační institut Praha, 2002. 24 str.
- [12] ČSN EN ISO 3679 Stanovení bodu vzplanutí - Rychlá rovnovážná metoda v uzavřeném kelímku. Český normalizační institut Praha, 2004. 32 str.
- [13] ČSN EN ISO 3680 Stanovení vzplane/nevzplane - Rychlá rovnovážná metoda v uzavřeném kelímku. Český normalizační institut Praha, 2004. 32 str.
- [14] ČSN EN ISO 2592Stanovení bodu vzplanutí a bodu hoření – Metoda otevřeného kelímku podle Clevelanda , Český normalizační institut Praha, 2004, 32 str.
- [15] ČSN EN ISO 13736 Stanovení bodu vzplanutí v uzavřeném kelímku podle Abela. Český normalizační institut Praha, 2009. 36 str.
- [16] ČSN EN ISO 2719 Stanovení bodu vzplanutí v uzavřeném kelímku podle Penskyho-Martense. Český normalizační institut Praha, 2004. 32 str..
- [17] ČSN EN ISO 2592 Stanovení bodu vzplanutí a bodu hoření - Metoda otevřeného kelímku podle Clevelanda. Český normalizační institut Praha, 2004. 20 str.

- [18] ČSN 33 0371 Nevýbušná elektrická zařízení. Výbušné směsi. Klasifikace a metody zkoušek. Český normalizační institut Praha, 1982. 28 str.
- [19] ČSN EN 14522: Stanovení teploty vznícení plynů a par. Český normalizační institut Praha, 2006. 26 str.
- [20] ČSN ISO 1928 Tuhá paliva - Stanovení spalného tepla kalorimetrickou metodou v tlakové nádobě a výpočet výhřevnosti. Český normalizační institut Praha, 1999. 48 str
- [21] ČSN 65 6169 Kvapalné palivá. Stanovenie spalného tepla a výhřevnosti. Český normalizační institut Praha, 1986. 32 str.
- [22] A. J. KOROLČENKO, *Procesy hoření a výbuchu*, Moskva: Požnauka, 2007, 263 str.
- [23] KATEŘINA ORLÍKOVÁ, *Hasební látky*, Edice SPBI Spektrum, svazek 1, Ostrava 1995,90 str., ISBN 80 – 902001-0-9.
- [24] NV č. 173/1997 Sb., *kterým se stanoví vybrané výrobky k posuzování shody, ve znění pozdějších předpisů*
- [25] KLAUS-P. SCHEUERMANN, BGN–Projekt: *Ermittlung von Gefährungen durch Wasserbeaufschlagung und Brände beim Betrieb von Fritteusen und Fettbackgeräten-Ergebnisbericht-*, BGN Mannheim 1999, 44 str.
- [26] ČSN EN 3-7+A1Přenosné hasicí přístroje-Část 7: Vlastnosti, požadavky na hasicí schopnost a zkušební metody, Český normalizační institut Praha, 2008. 48 str.
- [27] IVETA MARKOVÁ, *Hasiace látky – způsoby a možnosti ich testovania*, TÚ Zvolen, Drevárska fakulta, katedra PO, Zvolen 2008, str. 49-110,ISBN 978-80-89241-18-7
- [28] Fire Service Plus Inc.,*Fire Ade 200 Technická příručka výrobku*, 81 str.
- [29] Zákon č. 356/2003 Sb., *o chemických látkách a chemických přípravcích, ve znění pozdějších předpisů*
- [30] OTTO DVOŘÁK A KOL, Výzkum efektivity hasiv. *Závěrečná výzkumná zpráva*, Praha: 2003. 155 str.
- [31] ČSN EN 2 ZMĚNA A1, Třídy požárů, Český normalizační institut Praha. 2005. 6 str.
- [32] ISO 3941:2007(E), Classification of fires, Český normalizační institut Praha, 2007. 2str
- [33] ČSN ISO 8421–4,Požární ochrana. Slovník, Část 4: Hasicí zařízení. Český normalizační institut Praha
- [34] Fire Fichting Today, *Hoechst*, Frankfurt am Main, 1989
- [35] *The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer as Adjusteds and/or Amendet in London 1990, Copenhagen 1992, Vienna +995, Montreal 1997, Beijing 1999.*United Nations Environment Programme.
- [36] IFEX 3000, *Impulse Fire Extinguishing Technology*, Ifex, 2000
- [37] A. G. KOTOV, *Požarotušeníje, sistěmy bezopasnosti*,NPF Brandmaster, Kijev, 2003

- [38] S. FRIENLANDER, *Smoke, Dust and Faze*, Wiley, N. York, 1977.
- [39] NFPA 750:2000 Standard on Water Mist Fire Protection Systems. 69 pp
- [40] ČSN EN 1568-1 Hasiva – Pěnidla – část 1: Technické podmínky pro pěnidla na střední pěnu k aplikaci na povrch kapalin nemísitelných s vodou. Český normalizační institut Praha 2002. 28 str.
- [41] ČSN EN 1568-2 Hasiva – Pěnidla – část 2: Technické podmínky pro pěnidla na lehkou pěnu k aplikaci na povrch kapalin nemísitelných s vodou. Český normalizační institut Praha 2002. 28 str.
- [42] ČSN EN 1568-3 Hasiva – Pěnidla – část 3: Technické podmínky pro pěnidla na těžkou pěnu určenou k aplikaci na povrch kapalin nemísitelných s vodou. Český normalizační institut Praha, 2002. 40 str.
- [43] ČSN EN 1568-4 Hasiva – Pěnidla – část 4: Technické podmínky pro pěnidla na těžkou pěnu určenou k aplikaci na povrch kapalin mísitelných s vodou. Český normalizační institut Praha, 2002. 40 str.
- [44] ČSN EN 1869 Hasicí roušky. Český normalizační institut Praha, 1998. 12 str.
- [45] Vyhláška MV č. 246/2001 Sb., *o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru*
- [46] MV-GŘ HZS ČR, Statistická ročenka 1999 až 2009, *Činnost jednotek PO. Požáry. Prevence. Náklady na PO*. MV GŘ HZS ČR. Praha 2000 až 2009
- [47] STEINLEITNER H D: *Požárně a bezpečnostně technické charakteristické hodnoty nebezpečných látek*, díl 2., tab. 44, str. 871, Svaz požární ochrany ČSSR, Praha 1990.
- [48] PEKAR V. S., *Nebezpečí požárů od fritéz*, „112“ - odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva, ročník V, číslo 9, MV GŘ HZS ČR, Praha 2006, str. 12-14.
- [49] PEKAR V. S., DVOŘÁK O., Výzkum a vývoj efektivnosti hasiv a progresivních metod stanovení PTCH hořlavých látek za specifických technologických podmínek. *Sborník přednášek XVII. Ročníku mezinárodní konference „Požární ochrana 2008“*, VŠB-TU Ostrava 10.-11. Zář 2008, SPBI 2008, str. 411-414. ISBN 978-80-7385-067-8
- [50] Operating instructions . Densito 30P, Schwerzenbach: Mettler-Toledo GmbH, 2009.
- [51] ČSN ISO 31-8 Veličiny a jednotky. Část 8: Fyzikální chemie a molekulová fyzika, 1996.
- [52] Operating instructions . pH/mV meter JENWAY, model 370, 2009.
- [53] Vytenis Babrauskas: *Ignition Handbook*. London: Interscience Communications Ltd., 2003. 1116 p.

[54] Nařízení vlády č. 523/2020 Sb., kterým se mění Nařízení vlády č. 178/2001 Sb., *kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci.*

Publikované práce autora

- 1) PEKAR V. S., Zkoušky hašení slunečnicového oleje. *Sborník přednášek*, XVIII. ročník mezinárodní konference „Požární ochrana 2009“, VŠB-TU Ostrava, 9. – 10. září 2009, SPBI 2009, str. 435 – 446, ISBN 978-80-7385-067-8.
- 2) PEKAR V. S., Efektivnost a výběr hasebních prostředků. *Zborník príspevkov z medzinárodnej konference* „Enviromentálne a bezpečnostne aspekty požiarov a havarií“, MTF STU Trnava, 12. 9. 2009, Trnava 2009.
- 3) PEKAR V. S., DVOŘÁK O., Výzkum a vývoj efektivnosti hasiv a progresivních metod stanovení PTCH hořlavých látek a materiálů za specifických technologických podmínek *Sborník přednášek*, XVII. ročník mezinárodní konference „Požární ochrana 2008“, VŠB-TU Ostrava, 10. – 11. září 2008, SPBI 2008, str. 411 – 414, ISBN 978-80-7385-040-1.
- 4) PEKAR V. S., Kritéria efektivnosti hasicích zařízení. *Sborník přednášek* XI. ročník konference „Červený kohout 2008“, na CD, Dům techniky, České Budějovice, 15. – 16. dubna 2008, České Budějovice 2008.
- 5) DVOŘÁK O., PEKAR V. S., Nebezpečí toxicity zplodin hoření polymerních materiálů. *Sborník přednášek*, XVI. ročník mezinárodní konference „Požární ochrana 2007“, VŠB-TU Ostrava, 12. – 13. září 2007, SPBI 2007, str. 112 – 123, ISBN 978-80-7385-009-8.
- 6) PEKAR V. S., Možnosti využití impulzního hašení požárů v současné době. *Sborník přednášek*, XVI. ročník mezinárodní konference „Požární ochrana 2007“, VŠB-TU Ostrava, 12. – 13. září 2007, SPBI 2007, str. 463 – 472, ISBN 978-80-7385-009-8.
- 7) CHUDĚJ F., PEKAR V. S., Stanovení počtu hasicích přístrojů a podle jejich hasicích schopností. *Sborník přednášek* II. konference s mezinárodní účastí „Prevence závad v požárně bezpečnostních zařízeních PKPO a ČKAIT, Praha 2006, str. 63 – 67.
- 8) PEKAR V. S., Nebezpečí požáru od fritéz. „I12“ – odborný časopis PO a IZS, Ročník V., číslo 9, MV GŘ HZS ČR, Praha 2006, str. 12 – 14.

- 9) PODHRADSKÝ J., PEKAR V. S., Zkoušky přenosných hasicích přístrojů na požáry třídy F podle Pr 01 EN 3-7:2005 a hasicí zkoušky podle Pr 01 EN 3-7:2005 přílohy M. *Sborník přednášek XV. ročník mezinárodní konference „Požární ochrana 2006“, VŠB – TÚ Ostrava, 13. – 14. září 2006, SPBI 2006, str. 310 – 313, ISBN 80-86634-88-4.*
- 10) ŠEVČÍK L., PEKAR V. S., Využití refraktometrie pro hodnocení jakosti pěnidel. *Sborník přednášek, XV. ročník mezinárodní konference „Požární ochrana 2006“, VŠB – TÚ Ostrava, 13. – 14. září 2006, SPBI 2006, str. 410 – 417, ISBN 80-86634-88-4.*
- 11) PEKAR V. S., Servisní předpis pro kontroly hasicích přístrojů IBS Brandschutz – postupy pro provádění kontrol. *Účelová publikace, PYROSERVIS a.s., Praha 2006, str. 26.*
- 12) PEKAR V. S., PODHRADSKÝ J., Vliv pH vody na kvalitu požární pěny. *Sborník přednášek XIV. ročník mezinárodní konference „Požární ochrana 2005“, VŠB – TÚ Ostrava, 14. – 15. září 2005, SPBI 2005, str. 436 - 439.*
- 13) PEKAR V. S., Servisní předpis pro hasicí přístroje FLN Neuruppin, požadavky na kontroly, údržbu a opravy. *Účelová publikace, PYROSERVIS a.s., Praha 2005, str. 32.*
- 14) PEKAR V. S., Servisní předpisy pro provádění kontrol a údržby zařízení pro zásobování požární vodou. *Účelová publikace, PYROSERVIS a.s., Praha 2005, str. 22.*
- 15) PEKAR V. S., Provádění kontrol a zkoušení hasicích přístrojů ve vazbě na vyhrazená tlaková zařízení. *Sborník referátů „Asociace tlakových zařízení, 1. Vydání, Medim ČSTZ, Praha 2004, str. 39 – 43.*
- 16) PEKAR V. S., Servisní předpis pro hasicí přístroje FLN Neuruppin, podmínky a postupy pro provádění údržby. *Účelová publikace, PYROSERVIS a.s. Praha 2004, str. 45.*

Seznam příloh

- Vložená příloha A PEKAR, V. S., Požární taktika, Konspekt odborné přípravy požární ochrany – Metody zdolávání požárů jedlých tuků a olejů třídy F. Návrh
- Vložená příloha B PEKAR, V. S., Požární prevence, Metodický pokyn pro kontrolní činnost v objektech s nebezpečím požáru třídy F. Návrh
- Vložená příloha C PEKAR V. S., 2010-08, Elektronická verze dizertační práce ve formátu PDF na CD